A C F I N T E R N A T I O N A L

AGUA, SANEAMIENTO E HIGIENE
PARA LAS POBLACIONES EN RIESGO

hermann

Depuis 1876

ACCION CONTRA EL HAMBRE
ACF INTERNATIONAL

SEDES INTERNACIONALES

ACCIÓN CONTRA EL HAMBRE
C/ Caracas 6, 1ª pl.
28010 Madrid
Tel: +34 91 391 53 00
Fax: +34 91 391 53 01
ach@achesp.org
www.accioncontraelhambre.org

ACTION CONTRE LA FAIM
4 rue Niepce
75014 Paris
Tel: +33 1 43 35 88 88
Fax: +33 1 43 35 88 00
info@actioncontrelafaim.org
www.actioncontrelafaim.org

ACTION AGAINST HUNGER UK
First Floor, rear premises,
161-163 Greenwich High Road,
London, SE10 8JA
Tel: +44 0208 293 6190
info@aahuk.org
www.aahuk.org

ACTION CONTRE LA FAIM CANADA
7464 rue St Denis
Montreal, QC, H2R 2E4
Tel: +1 514 279 4876
Fax: +1 514 279 5136
info@actioncontrelafaim.ca
www.actioncontrelafaim.ca

ACTION AGAINST HUNGER USA
247 West 37th Street
Suite 1201
New York, NY 10018
Tel: +1 212 967 78 00
Fax: +1 212 967 54 80
info@actionagainsthunger.org
www.actionagainsthunger.org

El presente documento ha sido traducido al español, impreso y distribuido gracias al apoyo de :

MINISTERIO DE ASUNTOS EXTERIORES Y DE COOPERACIÓN

Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo

www.accioncontraelhambre.org

unicef

AGUA, SANEAMIENTO E HIGIENE PARA LAS POBLACIONES EN RIESGO

A C F I N T E R N A T I O N A L

AGUA, SANEAMIENTO E HIGIENE
PARA LAS POBLACIONES EN RIESGO

hermann
Depuis 1876

ISBN : 9782 7056 8125 8

© 2011, HERMANN ÉDITEURS DES SCIENCES ET DES ARTS, 6 RUE DE LA SORBONNE, 75005 PARIS
www.editions-hermann.fr

Toute reproduction ou représentation de cet ouvrage, intégrale ou partielle, serait illicite sans l'autorisation de l'éditeur et constituerait une contrefaçon. Les cas strictement limités à l'usage privé ou de citation sont régis par la loi du 11 mars 1957.

Introducción

El acceso al agua y al saneamiento es uno de los mayores retos que confronta la humanidad en el siglo XXI. Hoy por hoy, más 900 millones de personas sobreviven sin acceso a un agua en condiciones, al tiempo que más de dos mil setecientos millones de personas carecen de infraestructuras de saneamiento adecuadas. El resultado de estas condiciones de vida tan lamentables es la muerte de más de 10 000 personas cada día, De éstas, la inmensa mayoría son niños. La Organización Mundial de la Salud estima que un millón seiscientos mil niños de menos de 5 años mueren al año a causa de la diarrea, una enfermedad que se puede erradicar con facilidad con programas de agua, saneamiento e higiene. Las diarreas son también la primera causa de desnutrición por causas patológicas. El acceso universal al agua y al saneamiento, y en definitiva a una vida digna, ha sido uno de lo asuntos mas discutidos en el pasado foro mundial del agua de Estambul de 2008. **Acción contra el Hambre** desea que el agua sea un derecho humano, un derecho fundamental, reconocido por el conjunto de la comunidad internacional.

El acceso al agua segura no es solamente un factor importante para la salud pública, si no que también condiciona el desarrollo socio-económico de la población de un país: la agricultura, ganadería, industria, comercio y la vida diaria misma dependen de un acceso al agua en cantidad y calidad suficientes; su carencia, además de ser causa principal de pobreza, origina retrasos en el desarrollo de cualquier comunidad.

Este libro se basa en la experiencia en agua, saneamiento e higiene que la red internacional de **Acción contra el Hambre** ha adquirido sobre el terreno a lo largo de más de 30 años de trabajo en cooperación internacional y ayuda humanitaria. Su objetivo es plasmar en un único texto conocimientos, técnicas y criterios que han demostrado su utilidad práctica e impacto positivo en los problemas globales antes mencionados. Intenta además consolidar metodologías y herramientas para la ejecución de actividades de cooperación y de promoción de comunidades y personas vulnerables. Se pretende así que este libro sea una herramienta de formación y capacitación de los equipos que trabajan en el terreno, un instrumento que ayude a alcanzar las metas de cobertura de las necesidades más elementales, las de autosuficiencia y las de desarrollo pleno por medio de, entre otros factores, el *empoderamiento* de las personas protagonistas de su desarrollo.

La capitalización de los conocimientos y su comunicación dentro y fuera de la organización es una preocupación primordial en las actividades de **Acción contra el Hambre** y esta publicación, fruto de años de experiencia compartida con nuestros socios en el terreno por equipos nacionales e internacionales, quiere ser sobre todo una vía de transmisión de las experiencias adquiridas.

La primera edición de este libro se hizo en francés, en 1999; veinte años después de la fundación de la primera sede de Acción contra el Hambre en París, en 1979. Desde entonces se ha revisado y ampliado con su versión inglesa en 2005 y su última edición en francés en 2006.

La edición de un libro de estas características en español obedece a razones de mayor envergadura que la mera utilización interna y pretende llegar a un público más amplio que englobe a los principales actores hispano-parlantes de esta rama de la cooperación:

– Por una parte, los conocimientos y criterios que se ofrecen en el libro son de utilidad para un público que incluye no solo a los cooperantes hispano-parlantes, si no también a todas las ONGs involucradas en estas especialidades de la cooperación y que operan en todos los países hispano-parlantes.

– Este libro es también una referencia útil, si no necesaria, para todos los organismos e instituciones implicados en acciones humanitarias relacionadas o no con el Agua, el Saneamiento y la Higiene.

– Adicionalmente, las comunidades involucradas pueden disponer de una guía permanente a la que referirse para que el *empoderamiento* sea efectivo en lo que concierne al desarrollo de las actividades para la cobertura de sus necesidades básicas, a su autosuficiencia y a su desarrollo.

– En otro orden de cosas **Acción contra el Hambre** como organización de referencia en tantos aspectos de la cooperación, afianza su posición con esta publicación en el ámbito formativo e informativo del gran público en lo que se refiere a estas actividades específicas de la Cooperación

Es importante destacar que, sumadas a la actuación puramente técnica en el terreno con las poblaciones más desfavorecidas, **Acción contra el Hambre** lleva acabo actividades de difusión, concienciación y denuncia a favor de un derecho al agua y al saneamiento para todos.

El acceso al agua es un combate que requiere la movilización de grandes recursos financieros pero no se conseguirá alcanzar los Objetivos del Milenio sin sumar a ellos una actuación conjunta y renovada de todos los agentes del terreno que intervienen en este ámbito: autoridades locales y nacionales, empresas locales y multinacionales, organizaciones internacionales gubernamentales y no gubernamentales.

La lucha por este derecho pasa también por una "gobernanza" nueva entre los poderes públicos, intereses privados y usuarios en aras del mantenimiento y mejora de la salud pública. Por encima de todo esto, no debemos olvidar que existe una dimensión humana y solidaria en esta lucha por el agua que debe primar sobre los aspectos económicos y políticos. **Acción contra el Hambre** propugna el respeto a la gestión integrada de los recursos hídricos, teniendo en cuenta el entorno y los deseos de las poblaciones, con una voluntad decidida de actuar prioritariamente a favor de las poblaciones más desfavorecidas, desplazados, refugiados, excluidos, víctimas de conflictos y desastres naturales.

Como fin último, esta edición pretende ser un elemento más que ayude a conseguir el objetivo básico de Acción contra el Hambre: la erradicación del hambre en el mundo.

Olivier LONGUÉ
Director General
Action Contre la Faim - España

AGRADECIMIENTOS

El contenido del trabajo presentado, tanto el contenido como la forma, es el resultado del trabajo y entusiasmo de un equipo: personal de la organización humanitaria ***Acción contra el Hambre,*** profesionales del sector del agua, formadores, investigadores y universitarios, correctores de pruebas, comunicadores, un editor especializado, traductores y revisores de texto, todos ellos benévolos.

La edición presente toma forma a partir de la edición en lengua francesa: *Eau – Assainissement – Hygiene pour les population à risque*, Hermann 2006, traducida de la edición en ingles: *Water, sanitation and hygiene for populations at risk,* Hermann, 2005; que, a su vez se inspira en la primera edición en lengua francesa: *Alimentation en eau des populations menacées,* Hermann 1999.

En la presente edición es de agradecer la contribución de:

P. Alcalde, J.C. Barbiche, autores principales y coordinadores, así como a:

Autores y personas que contribuyeron: Joaquin Urios, A. Schiffer,

Traductores y revisores de textos: Joaquin Urios, José Luis Diago Usó, Imanol Bárcena, P. Alcalde, J.C. Barbiche, Jorge Durand Zurdo, A. Schiffer, A. de Vicente, Santiago Arnalich

Se agradece también a los que han contribuido en ediciones anteriores:

E. Drouart et J.-M. Vouillamoz, autores principales y coordinadores de la edición de 1999.

Así como a otros autores y personas que contribuyeron como: E. Delorme Curinier, S. Desanlis, F. Fortune, J.-H. Lahaye, J. Lance, B. Lemoal, G. Poujol, A. Olivier, L. Raigondeau, F. Robert, L. Romagny, O. Stoupy, T. Sutton, J. Adams, V. Arroyo, S. Breysse, A. De Vicente, J. Lapegue, B. Lopez, I. Marzan, T. Metais, J. G. Moulin, L. Raigondeau, L. Verdenal, T. Arhan, N. Chancel, E. Cleuvenot, A. De Vicente, R. Guérin, E. Lictevout, H. Sémiond, S. Thomasset, H. Vaugin, F. González

A todos ellos muchas gracias por su paciencia, determinación, flexibilidad y profesionalidad.

Resumen

Introducción v
Agradecimentos vii
ACF international xxiii

I DESARROLLO DE PROGRAMAS 1
1 POLÍTICA Y ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN DE ACF 3
1 El problema global de agua y saneamiento 3
2 Crisis y contextos humanitarios 4
2.1 Tipología de contextos humanitarios 4
2.2 Situaciones humanitarias y su evolución 6
2.3 Mecanismos de respuesta 8
2.4 Intervención técnica e incidencia 9
3 Programas de agua y saneamiento 9
3.1 Objetivos del programa 9
3.2 Dominios y actividades de intervención 12
4 Criterios de intervención 13
4.1 Consideraciones generales 14
4.2 Criterios generales 15
4.3 Criterios específicos 15
4.4 Población objetivo 15
4.5 Definición de prioridades 16
5 Principios de intervención 16
5.1 Una aproximación directa a las poblaciones 17
5.2 Una respuesta que depende del análisis 17
5.3 Análisis multidisciplinar 17
5.4 Implicación de las comunidades afectadas 18
5.5 Comprensión, respeto e integración de factores locales 18
5.6 Impacto sostenible de las actividades 19
5.7 Actividades de coordinación 20
5.8 Fortalecimiento de la comunidad 20
5.9 Asuntos relacionados con el género 20
5.10 Capitalizar a partir de la experiencia y el análisis 20
5.11 Respeto al medio ambiente 20

2 GESTIÓN DEL PROYECTO 23
1 Gestión de programas sobre agua y saneamiento 23
1.1 Gestión del ciclo del proyecto 24
1.2 Guías y normas 26
2 Evaluación de necesidades e identificación del proyecto 28
2.1 Objetivos de la evaluación de necesidades 28
2.2 Enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento 28
2.3 Etapas de una evaluación de necesidades 31

2.4 Recursos y medios para realizar una evaluación de necesidades 32
2.5 Recogida de información 33
2.6 Evaluación de necesidades en emergencias 40
2.7 Evaluación de salud pública 41
3 Diseño del proyecto 41
3.1 Fase de análisis 42
3.2 Fase de planificación 46
3.3 Redacción de la propuesta 53
3.4 Aprobación y financiación de un proyecto 55
4 Ejecución y seguimiento de un proyecto 55
4.1 Planificación 55
4.2 Gestión del personal 56
4.3 Procedimientos internos 59
4.4 Concienciación sobre la seguridad 60
4.5 Participación comunitaria 62
4.6 Gestión de la información, lecciones aprendidas e informes 62
4.7 Seguimiento 63
5 Evaluación 64

II RECURSOS HÍDRICOS
3 GESTIÓN DEL SUMINISTRO DE AGUA 72
1 Objectivos generales 72
2 Tipos de gestión 73
2.1 Actores a cargo de la gestión del suministro de agua 73
2.2 Contexto y gestión 76
2.3 Gestión según el tipo de sistema de suministro de agua 78
3 Gestión basada en la comunidad 83
3.1 Cómo funciona 84
3.2 El comité de agua 85
3.3 Técnico de reparaciones 87
3.4 Red de almacenes de repuestos 88
3.5 Autoridades locales 88
3.6 Lanzamiento de un sistema de gestión comunitario 89
3.7 Recuperación de costes 93

4 RECURSOS HÍDRICOS 99
1 El ciclo del agua 99
2 Agua de lluvia 100
2.1 Sistemas de recogida 100
2.2 Concepto de capa de agua 101
3 Aguas superficiales 101
3.1 Escorrentía 101
3.2 Concepto de cuenca de recepción 102
4 Aguas subterráneas 102
5 Agua de mar / Aguas salobres 102

5 CALIDAD Y ANÁLISIS DEL AGUA 104
1 Calidad del agua y estrategia para los programas sanitarios 104
1.1 Calidad del agua y salud pública 104
1.2 Calidad del agua y tipos de programas 104
1.3 La calidad del agua en las diferentes fases de programa 105
1.4 Recursos hídricos y calidad del agua 108
2 Estándares y directivas o recomendaciones 112
2.1 El concepto de contaminación 112
2.2 El concepto de toxicidad 114
2.3 Estándares de calidad, directivas e indicadores 115
3 Indicadores de calidad 119
3.1 Estudios sanitarios y evaluación de riesgos relativos a la calidad del agua 120
3.2 Análisis biológico 120
3.3 Características físico-químicas 122
3.4 Iones principales 125
3.5 Oligoelementos y minerales tóxicos 128
3.6 Índices biológicos 129
4. Análisis del agua 129
4.1 Toma de muestras 130
4.2 Métodos de análisis 131
4.3 Presentación e interpretación de resultados 135

6 TRATAMIENTO DEL AGUA 139
1 Procedimentos de tratamiento 139
1.1 Selección de procedimientos 139
2 Tratamiento de grandes cantidades de agua 141
2.1 Pretratamientos 141
2.2 Floculación y sedimentación 141
2.3 Desinfección 144
2.4 Filtración 148
2.5 Aireación 149
3 Dosificación de productos químicos 151
4 Tratamiento doméstico del agua 152
4.1 Desinfección 152
4.2 Floculación, precipitación y/o sedimentación 155
4.3 Filtración 158
4.4 Comparación, eficacia y limites de las distintas metodologías de tratamiento de agua domiciliar 162

7 MANANTIALES 165
1 Captaciones en manantiales 165
1.1 Medida del caudal 165
1.2 El contexto hidrogeológico 165
1.3 Tipos de captaciones de manantial 166
1.4 Equipamiento de los manantiales 169
1.5 Depósito de captación de un manantial 170
1.6 Depósito para una red de distribución por gravedad 170
1.7 Depósitos para una red de distribución por bombeo 172
2 Ejemplos de campo 172
2.1 Captación del manantial 172

8 AGUA DE LLUVIA. ESTANQUES 175
1 Pluviometría 175
2 Recogida de aguas de lluvia con tanques de captación (aljibes, depósitos de superficie) 176
2.1 Cálculo del volumen de un depósito 176
3 Recogida de aguas de lluvia con estanques 177
3.1 Clases de estanques 177
3.2 Estanques comunitarios tipo "impluvium": ejemplo en Birmania 178
4. Estanques pastorales de recogida de agua, ejemplo de Etiopía 181
4.1 Almacenamiento para la captación de escorrentías 183
5 Ejemplo de sistemas para la recogida de agua 183
5.1 Pozo junto al estanque 184
5.2 Filtración 185

9 AGUAS SUPERFICIALES 187
1 Estimacion de la escorrentía 187
1.1 Medida del Caudal de agua 187

10 AGUAS SUBTERRÁNEAS. ACUÍFEROS 195
1 Agua en el subsuelo 195
1.1 Reserva de agua 196
1.2 Flujo de agua 200
2 Principales clases de acuíferos 204
2.1 Acuíferos en zonas de roca dura 205
2.2 Acuíferos en rocas no consolidadas 208
2.3 Acuíferos en las grandes cuencas sedimentarias 210
2.4 Acuíferos muy heterogéneos 211
3 Recarga de los acuíferos 212
3.1 Seguimiento piezométrico 213
3.2 Balance simplificado del agua 213
4 Calidad de las aguas subterráneas 214

11 PROSPECCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 218
1 Consideraciones a tener en cuenta por el operador 218
2 Actuaciones preliminares 219
2.1 Información disponible 219
2.2 Cartografía 219
2.3 Imágenes de satélite 220
2.4 Foto-interpretación 220
3 Estudio de campo 222
3.1 La visita preliminar 222
3.2 Reuniones técnicas 222
3.3 Investigaciones adicionales 223
4 Métodos hidro-geofísicos 223
4.1 Introducción a los métodos 223
4.2 El método de la resistividad eléctrica 227
4.3 Métodos electromagnéticos 246
4.4 Prospección por resonancia magnética 254
5 Procedimientos de prospección 263
5.1 Sondeos exploratorios 263
5.2 Evaluación de los recursos hídricos 263
5.3 Archivo de los resultados y métodos analíticos 263
5.4 Procedimientos de prospección 263
6 Ejemplos de campo : implementación de sondeos en sedimentos no consolidados 274
6.1 Antecedentes 274
6.2 Ejemplo de resultados 277
6.3 Discusión 281
7 Ejemplos de campo : caracterizacion de acuiferos en rocas cristalinas de base 284
7.1 Antecedentes 284
7.2 Principales resultados 285
7.3 Conclusión 288
8 Ejemplos de campo : localizacion de acuiferos kársticos saturados 289
8.1 Fundamentos 289
8.2 Ejemplo de terreno 291
8.3 Conclusión 293

12 AGUAS SUBTERRÁNEAS. POZOS EXCAVADOS 295
1 Pozos modernos 295
1.1 Trabajos superficiales 296
1.2 Extracción manual de agua 296
1.3 Diámetro 298
1.4 Entibamiento de un pozo 299
1.5 Columna de captación 299
2 Técnicas de construccíon 299
2.1 Excavación 299
2.2 Entibamiento 300
2.3 Captación independiente 303
2.4 Desarrollo / puesta en servicio del pozo 307
2.5 Uso de explosivos 307
2.6 Pozos profundos en Malí 308
3 Rehabilitación de pozos 309
3.1 ¿Por qué rehabilitar? 309
3.2 Rehabilitación del entibamiento 310
3.3 Limpieza y ahondamiento 311
4 Desinfección 312
5 Ejemplo de campo. Ejecución 312
5.1 Estimaciones cuantitativas 312
5.2 Tiempo necesario para la construcción de un pozo 313
5.3 Planificación para la construcción de diez pozos 314
6 Ejemplo de campo. Recursos necesarios 314
6.1 Recursos Humanos 314
6.2 Materiales 314
6.3 Equipo 316

13 AGUAS SUBTERRÁNEAS. POZOS PERFORADOS 318
1 Perforación para la obtención de agua 318
1.1 ¿Pozos perforados o excavados? 318
1.2 Prospección y explotación 318
1.3 Ejemplos de costes de los pozos perforados 319
2 Técnicas de perforación 319
2.1 Perforación por rotación 319

2.2 Perforación por roto-percusión 320
2.3 Parámetros del pozo perforado 321
3 Equipos ligeros de perforación 326
3.1 Equipo ACF-PAT 201 326
3.2 Equipo ACF-PAT 301 327
3.3 Equipo ACF-PAT 401 PTO 332
3.4 Otros equipos ligeros de perforación 332
4 Diseño del sondeo 333
4.1 Elección de camisa 333
4.2 Pre-camisado 335
4.3 Configuraciones más frecuentes 335
5 Perforaciones 337
5.1 Elección de la Técnica 337
5.2 Preparación del emplazamiento 337
5.3 Perforación por rotación 341
5.4 Perforación por percusión DTH 344
6 Equipamiento del pozo perforado 348
6.1 Entubación permanente 348
6.2 Paquete de grava y cementación 351
7 Puesta a punto 352
7.1 Limpieza del pozo 352
7.2 Procesos de puesta a punto 353
7.3 Caudal instantáneo 356
8 Seguimiento e informe del pozo 356
9 Trabajos en superficie 357
10 Ejemplo de campo. Planificación de un programa de perforación 357
11 Ejemplo de campo. Recursos a emplear 358
11.1 Recursos humanos 358
11.2 Costes de la perforación 359
12 Ejemplo de campo. Repaso de algunos programas concretos 361
12.1 Área sedimentaria no-consolidada 361
12.2 Zona de roca base 363

14 AGUAS SUBTERRÁNEAS. ENSAYOS DE BOMBEO 368
1 Ensayo del acuífero 368
1.1 Gráficos de diagnóstico *368*
1.2 Elección del modelo 371
1.3 Método de Jacob 371
1.4 Método de recuperación Theis 374
2 Ensayo de pozos 375
2.1 Etapas independientes 375
2.2 Etapas consecutivas 384
3 Procedimiento del ensayo de bombeo 389
3.1 Diseño del ensayo *389*
3.2 Puesta en práctica del ensayo 392
3.3 Informes 393

15 AGUAS SUBTERRÁNEAS. REHABILITACIÓN DE POZOS PERFORADOS 395
1 Introducción 395
2 Descripción de las causas del deterioro de un pozo perforado 396

2.1 Corrosión electroquímica y bacteriana 396
2.2 Obstrucción mecánica, química y biológica 396
2.3 Erosión 397
3 Diagnóstico 397
3.1 Método 397
3.2 Análisis de los datos 398
4 Técnicas de intervención 400
4.1 Desarrollo 400
4.2 Achique y perforación adicional 400
4.3 Re-equipamiento 400
4.4 Desobstrucción 400
4.5 Rehabilitación de la obra de superficie 401
5 Mantenimiento preventivo 402
6 Abandono de pozo perforado 402

16 AGUAS SUBTERRÁNEAS. POZOS COMBINADOS 403
1 Pozo central combinado 403
1.1 Implementación 403
1.2 Recursos necesarios 404
2 Pozo lateral combinado 406
2.1 Implementación 406

III ABASTECIMIENTO DE AGUA
17 SISTEMAS DE BOMBEO 412
1 General 412
2 Bombas motorizadas 412
2.1 Principios de funcionamiento de las bombas centrífugas 413
2.2 Estanqueidad de una bomba centrífuga 413
3 Consideraciones hidráulicas del bombeo 414
3.1 Energía 414
3.2 Aspiración 414
3.3 Caudal y altura manométrica total (TMH, "Total Manometric Head") 415
3.4 Punto de funcionamiento en un sistema de tuberías 417
3.5 Curvas características particulares 418
4 Elección de una bomba motorizada 420
4.1 Bomba centrífuga con motor montada en superficie 420
4.2 Bombas eléctricas sumergidas 422
5 Suministro eléctrico 423
5.1 Energía y corriente 423
5.2 Selección del generador 425
6 Bombas de achique 426
6.1 Principios y materiales 426
6.2 Bombas eléctricas de achique 426
6.3 Bombas neumáticas 426
7 Bombas de energía renovable 427
7.1 Bombeo con energía solar 428
7.2 Energía hidráulica 430
8 Bombas manuales 432
8.1 Tipos principales de bombas manuales 432

8.2 Bombas de pistón 433
8.3 Bombas hidráulicas 437
8.4 Bombas de tornillo 438
8.5 Bomba de Mecate 439
8.6 Bomba a pedales 440
9 Bomba de ariete hidráulica 441
9.1 Presentación de la tecnología de una bomba de ariete hidraúlica 441

18 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POR GRAVEDAD 446
1 Estudio de viabilidad 446
1.1 Diseño del plan de distribución 446
1.2 Estudio topográfico rápido 449
1.3 Verificación técnica 449
2 Estudio de detalle 449
2.1 Estudio topográfico 449
2.2 Diseño hidráulico 452
2.3 Diseño de la red 457
3 Construcción de la red 463
3.1 Tanques de cabecera y tanques de rotura de presión 464
3.2 Tanque de almacenamiento 464
3.3 Conducciones 465
3.4 Fuentes de grifos 477
4 Distribución de agua de manantiales por gravedad 479
4.1 Planificación 479
4.2 Recursos humanos y financieros 479
4.3 Ejemplo del sistema de Ban Houn 481
5 Distribución de agua de pozos perforados en emergencias 493
5.1 Ejecución *493*
5.2 Recursos humanos y financieros 493
6 Distribución de agua desde ríos en emergencias 494
6.1 Operación 494
6.2 Ejemplo del sistema de Aswha 496
7 Puntos de agua 499
7.1 Movimiento de tierra 499
7.2 Cimientos 500
7.3 Losa (cubeto) de hormigón armado 500
7.4 Fontanería 503
7.5 Mampostería 504
7.6 Canal a nivel constante 505
7.7 Canal de desagüe 505

IV SANEAMIENTO
19 SANEAMIENTO 510
1 Introducción 510
1.1 Saneamiento, un problema global 510
1.2 La importancia del saneamiento 510
2 Enfermedades relacionadas con el saneamiento y su control 511
3 Elementos clave para la implementacion de un proyecto de saneamiento ambiental 512
3.1 Importancia de los factores socio-culturales y de la percepción que tiene la comunidad del saneamiento 512
3.2 Promoción del saneamiento 514
3.3 Medios de trabajo y participación comunitaria 514
3.4 Saneamiento escolar y cuestiones de niños 514
3.5 Saneamiento y contaminación del agua subterránea 515
4 Eliminición de excrementos 517
4.1 Defecación en áreas abiertas 517
4.2 Letrinas que no necesitan agua (secas) 518
4.3 Letrinas con sello hidráulico 527
4.4 Ventajas y desventajas de las letrinas simples, VIP y las de sello hidráulico 535
4.5 Letrinas de compostaje 535
4.6 Letrinas para suelos rocosos y congelados, para zonas con acuíferos superficiales y zonas propensas a inundaciones 541
4.7 Control de los excrementos en campos de refugiados o IDP 543
5 Otras actividades de saneamiento ambiental 546
5.1 Estructuras de higiene personal 546
5.2. Trampas para grasa 549
5.3 Drenaje del agua superficial 550
5.4 Control de vectores 551
5.5 Gestión de residuos sólidos 554

V PROMOCIÓN DE LA HIGIENE
20 PROMOCIÓN DE LA HIGIENE 561
1 Introducción 561
1.1 ¿Qué es la promoción de la higiene? 561
1.2 ¿Por qué es importante la promoción de la higiene? 562
1.3 El ciclo de proyecto de promoción de la higiene 563
2 Evaluación de las necesidades 564
2.1 Diagnóstico preliminar 565
2.2 Evaluación detallada de necesidades 565
2.3 Técnicas de investigación 568
2.4 Análisis de resultados de una encuesta CAP 583
2.5 Reclutamiento y formación del equipo para la evaluación 585
3 Diseño y planificación del programa 586
3.1 Definición de las metas del programa 586
3.2 Selección de hábitos objetivo 587
3.3 Selección del grupo meta 588
3.4 Diseño del mensaje 588
3.5 Canales de comunicación 589
3.6 Selección de los comunicadores 592
3.7 Consolidación del plan de comunicación 594
3.8 Distribución de kits higiénicos 595
4 Seguimiento y evaluación 596
4.1 Seguimiento 596
4.2 Evaluación 596
5 Ejemplo : Laos 597

VI INTERVECIONES ESPECÍFICAS
21 EMERGENCIAS 603
A. INSTALACIONES EN ASENTAMIENTOS 603
1 Selección y planificación del terreno 603
1.1 Directivas 604
1.2 Distribución en planta 604
2 Refugios de emergencia 605
B. SUMINISTRO DE AGUA EN CAMIONES CISTERNA 607
1 Introducción 607
1.1 Contexto de la intervención 607
2 La operación 608
2.1 Camiones Cisterna 608
2.2 Distribución 609
3 Ejemplos 611
3.1 Suministro de asentamientos con camiones cisterna 611
3.2 Suministro de agua con camiones cisterna en áreas rurales (comunidades de pastoreo y agro-pastoreo) 612

22 CÓLERA 621
1 Cólera : aspectos generales 621
1.1 Vibriones del cólera 621
1.2 Signos clínicos y síntomas 621
1.3 Contagio 621
1.4 Evitando el contagio 622
1.5 Tratamiento 622
1.6 Vacunación 622
1.7 Inmunidad natural 623
1.8 Riesgos para el personal sanitario 623
1.9 Epidemias 623
1.10 Factores epidemiológicos 624
2 Evaluación de la situación 625
2.1 Confirmación de los casos declarados, implementación de un sistema de vigilancia 625
2.2 Epidemias anteriores 625
2.3 Estudios sanitarios 625
2.4 Grupo de trabajo del cólera 626
3 Estrategia de intervención 626
3.1 Desarrollo de la Epidemia 626
3.2 Estrategia/acciones sanitarias 626
4 Tipos de intervención 627
4.1 Centro de tratamiento del cólera (CTC) de gran capacidad 627
4.2 Unidad de tratamiento del cólera (UTC), de menor capacidad 628
4.3 Puntos de Rehidratación Oral (ORP) 628
4.4 Vínculo con estructuras locales 628
4.5 Apoyo al ministerio de sanidad 629
4.6 Acciones de emergencia 629
5 Centro de tratamiento del cólera (CTC) 629
5.1 Planificación 630
5.2 Elección del sitio 631
5.3 Diseño de un CTC 632
5.4 Suministro de agua 635
5.5 Instalaciones sanitarias 636
5.6 Refugios 639
5.7 Barreras sanitarias 639
5.8 Gestión 640
5.9 Otras estructuras y contextos 646
6 Acciones en la comunidad 646
6.1 Promoción de higiene, sensibilización y búsqueda activa de nuevos casos 646
6.2 Equipos de desinfección 647
6.3 Lugares públicos: desinfección y sensibilización 647
6.4 Mejora en la calidad del agua 648
7 Fin de la intervención 652
7.1 Retirada 652
7.2 Evaluación 653
7.3 Respuesta tras el cólera 654

23 CENTROS DE NUTRICIÓN TERAPÉUTICA 655
1 Introducción 655
2 Guías y recomendaciones 655
2.1 Guías 655
2.2 Recomendaciones 657
3 Plano de CNT 658

ANEXOS
1 INDICADORES DE REFERENCIA 663
1 Introducción 663
2 Directivas para planificar el suministro de cantidades mínimas de agua a centros públicos y para otros usos 665
3 Directivas para planificar el número mínimo de letrinas en lugares públicos e instituciones en situaciones de emergencia 666
4 Indicadores-guía relacionados con seguridad alimentaria 666

2 CÁLCULO DE INDICADORES 669
1 Indicadores generales 669
1.1 Estimación de la población 669
1.2 Mortalidad 670
1.3 Morbilidad 671
1.4 Estado nutricional 671
1.5 Indicadores de seguridad alimentaria 672
2 Cálculo de indicadores específicos para el agua y saneamiento 673
2.1 Cantidad de agua disponible y consumo de agua 673
2.2 Acceso al punto de agua 674
2.3 Calidad del agua 674
2.4 Saneamiento e higiene 675
2.5 Gestión del Agua 675

3 LISTA DE CONTROL PARA LA EVALUACION INICIAL DE LAS NECESIDADES DEL PROYECTO “ESFERA” 677
1 General 677
2 Suministro de agua 677

3 Elimnación de excrementos 678
4 Enfermedades transmitidas por vectores 678
5 Recogida de basuras (residuos sólidos) 678
6 Desagüe 679

4 EJEMPLO DE DESCRIPCIÓN DEL PUESTO DE JEFE DE PROYECTO 681

5 ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL AGUA Y EL SANEAMIENTO 685
1 Clasificación ambiental de las enfermedades relacionadas con el agua 685
2 Clasificación ambiental de las infecciones relacionadas con los excrementos 687
3 Lista de referencia general de las enfermedades relacionadas con el agua y los excrementos 688
4 Descripción somera de los tipos de enfermedades más corrientes relacionadas con el agua. Patología, ciclos de transmisión y de infección 692

6 HIDROLOGÍA 697
1 Caudales 697
1.1 Tipos de flujo 697
1.2 Tipos de energía 698
1.3 Teorema de Bernoulli 699
1.4 La ecuación de continuidad 699
2 Balance hidrológico simplificado 699
2.1 Cálculos basados en las aportaciones de agua 699
2.2 Cálculos basados en los caudales obtenidos 705
3 Datos meteorológicos del mundo 706
3.1 Temperaturas en enero (ºC) 706
3.2 Temperaturas en julio (ºC) 706
3.3 Precipitación media anual (mm) 706
3.4 Radiación solar sobre una superficie horizontal (ºC) 707

7 ANÁLISIS Y CALIDAD DEL AGUA 709
A INDICADORES NO CONTEMPLADOS POR LA OMS 709
B ESTUDIO SANITARIO DEL PUNTO DE AGUA 710
1 Formas de inspección sanitaria para varios tipos de puntos de agua 710
1.1 Aguas subterráneas: pozos, sondeos con bomba manual, sondeo con un sistema de bomba motorizada 710
1.2 Manantial protegido 710
1.3 Recogida de lluvia del tejado 711
1.4 Camiones cisterna 711
1.5 Suministros por tubería 711
2 Calidad del agua en varios puntos de un sistema 712
3 Análisis de riesgos: valoración de las prioridades para acciones correctoras (selección de puntos de agua) 712
C MÉTODO CORRECTO DE TOMA DE MUESTRAS DE UN GRIFO Y DE UNA CORRIENTE SUPERFICIAL 713
D REGISTRO DE ANÁLISIS DEL AGUA 714
E KIT DELAGUA 716
A EQUIPO 717

8 GEOFÍSICA 717
A EQUIPO *717*
1 Instrucciones para la medida de resistividades 717
2 Instrucciones para la recarga de la batería integrada 718
3 Características técnicas 719
B REGISTROS DE LOS ARCHIVOS DE MEDIDAS ELÉCTRICAS 720
C NOMOGRAMAS 722

9 REGISTROS DE ENSAYOS DE BOMBEO 727

10 PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS DE AGUA 729
1 Aguas subterráneas 729
1.1 Migración de la contaminación bacteriana 729
1.2 Zona de protección 729
2 Aguas superficiales 730
2.1 Explotación de una corriente de agua 730
2.2 Protección de un estanque 731
3 Almacenamiento, transporte y extracción del agua 731

11 PERFORACIÓN 733
A EQUIPO DE PERFORACIÓN 733
1 Equipo de perforación rotativo ACF-PAT 201 733
2 Equipo de perforación rotativo ACF-PAT 301, mixto rotativo-DTH 734
3 Equipo de perforación ACF-PAT 401 PTO, mixto rotativo-DTH 735
4 ACF-PAT 301 T 736
5 Martillo de fondo del sondeo (DTH) 738
6 Brocas de tres hojas, de cuatro hojas y triconos (2004) 739
7 Tubos y filtros de un sondeo de PVC roscado (2004) 740
B REGISTRO DE LA PERFORACIÓN 741
C ARCHIVO DE DESARROLLO 742
D ARCHIVO DEL SONDEO 743

12 HIDRÁULICA Y UNIDADES DE MEDIDA 745
A HIDRÁULICA 745
1 Definiciones preliminares 745
1.1 Magnitudes *745*
1.2 Regímenes en flujo forzado 746
2 Diagrama de Moody 747
3 Nomograma para determinar pérdidas de carga lineales en tuberías de plástico 748
4 Nomograma para determinar pérdidas de carga en tuberías de acero galvanizado 749
5 Pérdidas de carga 750
5.1 Pérdidas de carga lineales 750
5.1.1 Expresiones generales 750
5.1.2 Diagrama de Moody 750
5.1.3 Fórmulas empíricas 751
5.2 Pérdidas de carga secundarias 752
B UNIDADES DE MEDIDA 753
1 Principales unidades 753
2 Prefijos para múltiplos y submúltiplos de las unidades 755
3 Unidades habituales imperiales y de EE.UU. y sus conversiones 756

13 ARCHIVOS DE PRODUCTOS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA 757
1 Productos para desinfección 757
2 Productos para la floculación 758

14 INGENIERÍA CIVIL 759
1 Mortero, mampostería, hormigón y hormigón armado 759
1.1 Mortero 760
1.2 Mampostería 761
1.3 Hormigón 764
1.4 Acero para reforzar el hormigón (hormigón armado) 767
2 Cálculos estructurales rápidos 769
2.1 Cálculos de cargas 769
2.2 Elementos del hormigón armado 769
2.3 Trabajos comunes de mampostería 777
2.4 Obras de superficie en puntos de agua. 778
3 Información adicional 780
3.1 Esfuerzos de las estructuras y tipos de reforzamiento 780
3.2 Cálculo de estructuras y trabajos comunes en hormigón armado 782
4 Encofrado 795
4.1 Moldes de madera 795
4.2 Moldes metálicos, moldes para pozos 798
5 Estimación del tiempo de trabajo 804

15 EL DERECHO HUMANO AL AGUA 805
1 Reconocimiento internacional de que el agua es un derecho universal del hombre 805
2 Posicion de ACF en relacion al derecho al agua, un derecho humano 806
3 Recomendaciones 811

Vocabulario 813
Bibliografia 827
Direcciones de internet 833

ACF International

Nacida en el contexto de la crisis afgana de 1979, *ACF* se funda en París por un grupo de intelectuales, escritores, filósofos, científicos, así como cierto número de médicos, periodistas y humanistas. Mientras que hasta el momento las actuaciones específicas contra el hambre se integraban en acciones más amplias (lucha contra la pobreza, lucha por la salud, etc.), este grupo de personas crearon una organización dedicada exclusivamente al problema del hambre con todas las implicaciones.

El objetivo: luchar contra el hambre con operaciones de emergencia, para favorecer a continuación la autonomía de las comunidades con programas de rehabilitación.

La actuación se desarrolla a lo largo de cinco tipos estratégicos de actividad: la nutrición, la sanidad, el agua-saneamiento, la seguridad alimentaria y la incidencia "advocacy".

Con el fin de responder mejor a las necesidades de las poblaciones, *ACF International* implantó nuevas sedes en 1995 en Madrid y Londres, en 1997 en Nueva York y en 2005 en Montreal. Aprovechándose así de un potencial más amplio de recursos humanos y financieros, nuestra asociación ha podido desarrollar ejes nuevos de investigación (prevención de crisis humanitarias, SIDA,…) y extender los programas en otros países, especialmente en América del Sur.

Hoy por hoy, *ACF International* se ha convertido en una de las organizaciones humanitarias de lucha contra el hambre más importantes en el mundo. Merced a la acción combinada de las cinco sedes de *ACF International*, la asociación se halla presente junto a las poblaciones más vulnerables de más de cuarenta países.

CARTA DE PRINCIPIOS

ACF International es una organización no gubernamental. Privada, apolítica, no-confesional, sin ánimo de lucro, creada en Francia en 1979 para intervenir por todo el mundo.

Su vocación consiste en salvar vidas humanas luchando contra el hambre, la miseria, las situaciones de desestructuración que amenazan de muerte hombres, mujeres y niños indefensos.

ACF International interviene cuando se da al menos una de las situaciones siguientes:

– Crisis grave, originada por causas naturales o humanas, que amenaza la seguridad alimentaria o que provoca una situación de hambruna.
– Desestructuración del tejido social, relacionada con causas internas o externas, que sitúa algunas poblaciones en condiciones de vulnerabilidad extrema.
– Casos en que la ayuda humanitaria es cuestión de vida o muerte.

La actividad de la asociación puede tener lugar durante la crisis misma (intervención de emergencia) o posteriormente (programas de rehabilitación y desarrollo). Se puede intervenir también con programas

de prevención de riesgos. Todos los programas de *ACF Internacional* tienen como fin último permitir que los beneficiarios recuperen lo antes posible la autonomía y los medios de vida necesarios para poder vivir sin necesidad de ayuda externa.

Es sus actuaciones *ACF Internacional* basa su actividad en los siguientes principios:

INDEPENDENCIA

Para conservar su independencia moral y económica, Acción Contra el Hambre actúa en función de sus propios principios y nunca en función de los intereses de la política interna, externa o gubernamental.

NEUTRALIDAD

Acción Contra el Hambre obra dentro del respeto a una estricta neutralidad e imparcialidad política y religiosa. Sin embargo, puede verse llevada a denunciar los atentados a los derechos humanos de los que sea testigo, así como los obstáculos interpuestos al buen desarrollo de su misión humanitaria.

NO DISCRIMINACIÓN

Acción Contra el Hambre rechaza, en su acción, toda discriminación por motivos de etnia, sexo, religión, nacionalidad, opinión o clase social.

ACCESO LIBRE Y DIRECTO A LAS VÍCTIMAS

Acción Contra el Hambre basa sus intervenciones en la exigencia del libre acceso a las víctimas y del control directo de sus programas, asegurándose los medios para conseguirlo. Verifica que los recursos lleguen directamente a los beneficiarios. En ningún caso, los colaboradores con los que trabaja sobre el terreno serán los beneficiarios directos de sus programas.

PROFESIONALIDAD

Acción Contra el Hambre basa la concepción, realización, gestión y evaluación de sus programas en la profesionalidad y la experiencia de sus recursos humanos, con el fin de optimizar la eficacia y correcta utilización de sus recursos.

TRANSPARENCIA

Acción Contra el Hambre se compromete, ante sus beneficiarios, colaboradores y donantes a respetar la transparencia e información sobre el destino y la gestión de los fondos recibidos, y a dotarse de todas las garantías para verificar su buena gestión.

TODOS LOS MIEMBROS DE ACCIÓN CONTRA EL HAMBRE EN EL MUNDO ENTERO SE ADHIEREN A LOS PRINCIPIOS DE LA CARTA Y SE COMPROMETEN A RESPETARLOS.

I

Desarrollo de programas

CAPITULO I

Política y estrategia de intervención de ACF

1	**El problema global del agua y el saneamiento**	3	**5**	**Principios de intervención**	16
2	**Crisis y contextos humanitarios**		**4**	5.1 Una aproximación directa a las poblaciones	17
2.1	Tipología de contextos humanitarios	4		5.2 Una respuesta que depende del análisis	17
2.2	Situaciones humanitarias y su evolución	6		5.3 Análisis multidisciplinar	17
2.3	Mecanismos de respuesta	8		5.4 Implicación de las comunidades afectadas	18
2.4	Intervención técnica e incidencia	9		5.5 Comprensión, respeto e integración de factores locales	18
3	**Programas de agua y saneamiento**	9		5.6 Impacto sostenible de las actividades	19
3.1	Objetivos del programa	9		*5.6.1 Respuesta adaptada a las capacidades y voluntad de las comunidades*	19
3.2	Dominios y actividades de intervención	12		*5.6.2 Técnicas apropiadas y comprobadas*	19
4.	**Criterios de intervención**	13		*5.6.3 Transferencia de conocimientos y entrega del proyecto*	19
4.1	Consideraciones generales	14		5.7 Actividades de coordinación	20
4.1.1	*El concepto de vulnerabilidad*	14		5.8 Fortalecimiento de la comunidad	20
4.1.2	*Un análisis más amplio para las intervenciones humanitarias, concepto de vitalismo*	14		5.9 Asuntos relacionados con el género	20
4.2	Criterios generales	15		5.10 Capitalizar a partir de la experiencia y el análisis	20
4.3	Criterios específicos	15		5.11 Respeto al medio ambiente	20
4.4	Población objetivo	15			
4.5	Definición de prioridades	16			

1 EL PROBLEMA GLOBAL DEL AGUA Y EL SANEAMIENTO

El acceso al agua y al saneamiento es uno de los mayores retos del siglo XXI. Según la OMS (2004), en el mundo hay 1 100 millones de personas sin acceso a agua segura y 2 400 millones sin acceso a instalaciones sanitarias básicas (ver Cuadro 1.1). Como consecuencia de ello, alrededor de 4 millones de personas, la mayoría de ellas niños, mueren anualmente de enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento.

El agua es importante tanto para la salud pública como para la vida en general: la producción agrícola (la agricultura usa entre el 70 y el 80% de toda el agua dulce), la ganadería, la industria, el comercio y la vida diaria dependen del acceso al agua. Las condiciones de suministro de agua, por tanto, afectan a la salud, el hambre, la pobreza y el desarrollo comunitario.

El acceso deficiente al agua y saneamiento se debe en parte a la carencia de infraestructuras adecuadas, pero también a una mala gestión que malgasta, contamina y degrada el medio ambiente. La carencia de agua puede producir tensiones entre individuos, comunidades o países, que pueden desembocar en conflictos. Al mismo tiempo, la demanda de agua aumenta debido al crecimiento de la población, a la industrialización, al éxodo rural hacia las ciudades y correspondiente urbanización (esto último ha contribuido también a crear condiciones sanitarias extremadamente pobres).

La mayoría de estos problemas se pueden resolver con una gestión adecuada de los recursos hídricos y de la demanda. El agua es un recurso finito que debe gestionarse con una visión global que funcione a tres niveles: *internacional* para definir las reglas que protejan los recursos hídricos y eviten conflictos internacionales; *nacional* para aplicar reglas definidas y definir una política nacional de acceso al agua; y *local* para desarrollar iniciativas locales que aseguren el acceso comunitario al agua. El Cuadro 1.2 introduce los principales compromisos de la comunidad internacional relacionados con este tema.

Cuadro 1.1
Agua y saneamiento en el mundo (“World Water Assessment”, OMS & UNICEF, 2003).

Acceso limitado

– 1 100 millones de personas no tienen acceso a un agua segura (potable).

– 2 400 millones de personas no tienen acceso a instalaciones sanitarias básicas (la mitad de la población mundial), la mayoría de ellas en zonas rurales (80%).

Consecuencias

– El 80% de las enfermedades de los países en vías de desarrollo están relacionadas con el agua.

– 4 millones de personas, la mayoría de ellos niños, mueren cada año (más de 10.000 diarias) a causa de enfermedades relacionadas con el agua, el saneamiento o la higiene.

Factores agravantes

– En el año 2025, las necesidades de agua habrán aumentado el 20% (debido principalmente al aumento de la población, el éxodo rural hacia las ciudades y la industrialización).

– La reducción de los recursos hídricos debido al despilfarro, erosión, desertificación (calentamiento global), sobreexplotación y contaminación.

– La distribución desigual de los recursos hídricos conduce a tensiones entre comunidades y países para su control.

Los conflictos, los desastres naturales, la discriminación y marginación, *desestructuración*[1]* del estado y de las comunidades y la pobreza extrema, agravan los problemas sanitarios y pueden conducir a crisis humanitarias.

El primer objetivo de los programas de asistencia humanitaria consiste en proteger y mejorar la vida de las personas en estas situaciones críticas. En principio, las primeras intervenciones de un programa de agua y saneamiento se centran en cubrir las necesidades más básicas e inmediatas, al tiempo que se procura reforzar y estabilizar los cimientos para el desarrollo de la comunidad, de modo que se reduzcan o eliminen los riesgos relativos a estas situaciones de vulnerabilidad. Además, los programas de agua tratan también de trabajar para establecer la paz y la equidad: la movilización de la comunidad mediante los proyectos de agua y saneamiento pueden ayudar a crear cohesión social y eliminar tensiones.

2 CRISIS Y CONTEXTOS HUMANITARIOS

2.1 Tipología de contextos humanitarios

Hay millones de personas en el mundo que se encuentran en situaciones de crisis (poblaciones desplazadas, marginadas, víctimas de conflictos, etc.), ver Cuadro 1.3. En consecuencia, comunidades enteras viven en un estado de vulnerabilidad extrema y su supervivencia está amenazada constantemente. Los programas humanitarios se ponen en práctica en aquellas situaciones en las que la dignidad humana no se respeta y las necesidades básicas no son atendidas.

ACF distingue cinco tipos de problemas que pueden conducir típicamente a situaciones humanitarias que justifican la intervención :

Conflictos abiertos

Se refieren a todos los conflictos (guerra civil, conflicto armado entre países, etc.) que tienen un fuerte impacto en la forma de vida de la población y que ponen en peligro la supervivencia. Las consecuencias principales de estos conflictos son :

– inseguridad física y persecución ;

– desintegración de las estructuras del estado y de los servicios (electricidad, infraestructuras sanitarias, hospitales, etc.) ;

1. La palabra desestructuración, aplicada a organismos sociales (estados, comunidades, etc.) significa la pérdida de estructura y cohesión social, y por lo tanto, tiene como resultado alteraciones en sus funciones, relaciones y capacidades.

– la pérdida repentina de medios de vida/subsistencia (intercambios comerciales, acceso a mercados, actividades agrícolas, etc.) ;

– el debilitamiento de los mecanismos internos de regulación ;

– el desplazamiento de las poblaciones dentro o fuera del propio país.

Cuadro 1.2
Compromisos internacionales relativos a los asuntos relacionados con el agua y el saneamiento.

La ONU ha sido especialmente consciente durante los últimos treinta años del papel significativo que juegan el agua y el saneamiento en el desarrollo humano y ha decidido definir unos planes generales para su desarrollo:

En la conferencia del Mar de Plata en 1977, la ONU declara los años ochenta como la Década Internacional del Agua y el Saneamiento, con un objetivo claro: proporcionar agua y saneamiento adecuados al 100% de la población.

En 1992, el Estatuto de Dublín definió 4 principios fundamentales:

– El agua dulce es un recurso vulnerable y finito, esencial para la vida, para el desarrollo y para el medio ambiente.

– El desarrollo y la gestión del agua deben enfocarse de modo participativo, involucrando a los usuarios y a los responsables a todos los niveles en los planes de gestión y las políticas del agua.

– Las mujeres juegan un papel fundamental en el suministro, gestión y salvaguarda del agua.

– El agua tiene un valor económico en todos los aspectos y se debe reconocer como un bien económico.

En el Foro de La Haya en 2000, se intentó establecer una política internacional para el agua con el nombre de Visión Mundial del Agua. Esta política desarrolló tres sectores: agua para la población, agua para alimentos y agua para la naturaleza. El tema principal, desarrollado por el documento, es la gestión integrada de los recursos. Una de las premisas más importantes es que las comunidades decidan su propio nivel de acceso al agua segura y a las condiciones higiénicas para una vida saludable, así como las actividades económicas para las que se usan el agua y que ellos se organicen para realizarlo. La recomendación más controvertida es que se debe poner un precio sobre el coste total del servicio de suministro de agua (y se recomienda que se haga a través de los usuarios).

En 2001, Kofi Annan, Secretario General de la ONU, reconoció que el acceso al agua es una necesidad humana básica, y por tanto, un derecho humano fundamental. El agua es necesaria para una vida digna.

El Foro de Kyoto en 2003 se centró en soluciones y perspectivas futuras, y los dos debates principales fueron gestión privada o pública, y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), que aspiran a dividir por dos el número de personas sin acceso a agua segura y saneamiento antes del 2015.

Según el informe anual del año 2009, emitido por el Secretario General de la Organización de las Naciones Unidas sobre el avance hacia el logro de los ODM, entre 1990 y el 2006, 1.100 millones de personas en países en desarrollo obtuvieron acceso a inodoros, letrinas y otros tipos de servicios de saneamiento mejorado. Sin embargo, 1.400 millones de personas más aún necesitan esos servicios para que se pueda cumplir la meta fijada para el 2015. En el 2006, 2.500 millones de personas en todo el mundo todavía carecían de estos servicios.

El mundo está cumpliendo antes de lo programado la meta sobre el acceso al agua potable fijada para el 2015. Sin embargo, en algunos países la situación aún es muy difícil: 884 millones de personas en el mundo todavía utilizan fuentes de agua no mejoradas para beber, cocinar, bañarse y otras tareas domésticas. De ellas, un 84% (746 millones de personas) vive en zonas rurales.

Algunas ONG han criticado las iniciativas de los Foros Mundiales sobre el Agua a causa de su tecnocracia, falta de transparencia, y escasa comprensión del conocimiento y experiencia de la población local (aunque en Kyoto hubo buena participación de organizaciones locales), y principalmente porque apoyan la estrategia del Banco Mundial sobre la privatización del agua, criticada por su visión comercial, que concede escasa importancia a las iniciativas de desarrollo local y a la situación de las comunidades más vulnerables.

El Proyecto Esfera se lanzó en 1997, y fue revisado en 2004 por un grupo de ONG humanitarias y el movimiento Cruz Roja y Media Luna Roja , que enmarcaron una Carta Humanitaria e identificaron unas Normas Mínimas para las situaciones de asistencia en los desastres. La Carta describe los principios básicos que han de gobernar la acción humanitaria y reafirma el derecho de las poblaciones afectadas por el desastre, tanto si es natural como si es provocado por el hombre (incluyendo conflictos armados), a la protección y a la asistencia. También reafirma el derecho de las poblaciones afectadas por el desastre a una vida digna. Actualmente se está realizando una nueva revisión, que tiene prevista su finalización en el año 2010.

La “Academia del agua” (una ONG francesa) creó también la “Carta Social del agua” (“Charte Sociale de l’eau”), en la que se resumen las herramientas y las acciones concretas derivadas de diversas experiencias en la gestión comunitaria del agua.

Cuadro 1.3
Situación global de la gente afectada.

– Hay más de 12 millones de refugiados en el mundo (ACNUR, 2002).
– Hay más de 5 millones de personas desplazadas internamente en el mundo (ACNUR 2002).
– Aproximadamente 608 millones de personas se vieron afectadas por desastres en 2002 (IFRC 2003).
– 842 millones de personas (casi 800 millones de ellos en países en vías de desarrollo), o el 15% de la población mundial, no se alimentan adecuadamente, consumiendo menos de 2000 kcal. por día (FAO 2003).

Desastres naturales

Se refieren a la aparición de fenómenos naturales que ponen en peligro la vida de las poblaciones. Estos fenómenos pueden aparecer súbitamente (terremotos, inundaciones) o gradualmente (sequías). Algunos desastres se pueden prever (huracanes), otros son completamente impredecibles (terremotos). Sus consecuencias son:

– la pérdida repentina de medios de vida/subsistencia (intercambios comerciales, acceso al mercado, actividades agrícolas, infraestructuras sanitarias, etc.);
– el debilitamiento de los mecanismos internos de regulación;
– el desplazamiento de la población dentro o fuera del propio país.

Post-crisis

Se refiere al período de tiempo que sigue a una crisis seria, ya sea natural o generada por el hombre. Las poblaciones afectadas ya no están sujetas a las amenazas inmediatas de la crisis, pero deben afrontar ahora las consecuencias y los retos derivados: volver a casa tras el desplazamiento, recuperación de sus pertenencias y medios de producción, etc. Las autoridades del momento no son capaces (o no quieren) ayudar a la gente a recuperar su autosuficiencia, y han de ocuparse de sus propios problemas de reestructuración.

Desestructuración

Un país está desestructurado cuando no hay un gobierno reconocido como tal, o cuando el gobierno no afronta sus responsabilidades respecto a la población. Esto se puede deber a una incapacidad dentro del aparato del estado (financiera, estructural, temas de legitimidad, etc.), o a causa de protagonistas políticos concretos que no se interesan en sus responsabilidades o que tienen intereses personales. Al mismo tiempo, la comunidad internacional no reconoce la ausencia de un estado y actúa conforme a ello. En consecuencia la población se abandona a su suerte. En estos casos, se suele generalizar la violencia y los servicios sociales se reducen al mínimo (construcción, mantenimiento, gestión de las infraestructuras sanitarias, etc.). En muchas ocasiones la desintegración del estado conduce a la desintegración de la comunidad que impide a la gente hacer frente a la vida con sus medios tradicionales.

Discriminación

Se refiere a un país en el que algunas comunidades o parte de ellas sufren discriminación por causas sociales, culturales, étnicas, religiosas o raciales. Esta discriminación puede ser consecuencia de políticas (activas o pasivas) impuestas por el gobierno (generalmente un estado autoritario), pero también por las comunidades o por los grupos mismos. Las consecuencias para la población discriminada pueden ser variadas:

– persecución física y moral (desplazamiento forzoso);
– bloqueo de los mecanismos internos de regulación;
– exclusión de todo tipo de políticas de desarrollo.

2.2 Situaciones humanitarias y su evolución

No todas las situaciones descritas anteriormente llevan a crisis humanitarias, las consecuencias de un desastre o de un contexto favorable a una crisis dependen del tipo y nivel de vulnerabilidad de las poblaciones afectadas (ver Figura 1.3). Estas condiciones determinan la severidad y el impacto de cada

suceso. Por ejemplo, los huracanes de igual intensidad causan más pérdidas y daños en Centroamérica que en Florida, principalmente debido a la debilidad de las políticas de preparación y capacidades locales en países centroamericanos. En otro ejemplo, el año siguiente a la guerra iraquí en 2003 no condujo a una crisis humanitaria aguda como se temió. El estado de desarrollo y la estructura interna del país antes del conflicto le permitieron afrontar la pérdida del estado y manejar los conflictos locales.

Un análisis de la situación permite considerar las amenazas y vulnerabilidades que pueden conducir a una crisis humanitaria, y por tanto, se puede decidir una intervención y diseñarla. La Sección 4 y el Capítulo II muestran cómo se determinan los criterios para una intervención.

Las situaciones de crisis son generalmente complejas y se caracterizan por la interacción de varios factores: las catástrofes naturales y/o los conflictos humanitarios se añaden a diversos problemas socioeconómicos y estructurales. El efecto resultante de todo ello es a menudo de la mayor magnitud. La crisis puede surgir de un fenómeno repentino (guerra, inundación) o de un proceso lento y gradual (crisis económica, sequía). A partir de su manifestación inicial, la crisis puede evolucionar de acuerdo con los dos modelos que se describen a continuación.

Si la crisis se debe a un solo fenómeno concreto, una vez que el fenómeno se termina y se atienden las necesidades más urgentes, se puede pasar directamente de la fase de emergencia a la fase de recuperación. En este caso, el objetivo consiste en recuperar un estado de normalidad similar al de antes de la crisis. A esto se le llama *modelo de continuidad* (Figura 1.1 A) y se ha usado tradicionalmente en la comunidad humanitaria para describir la evolución lineal de una crisis y los mecanismos de respuesta correspondientes a cada fase: emergencia, rehabilitación y desarrollo una vez se ha producido la recuperación de la situación. Estas fases se reflejan en las políticas y estrategias de muchas organizaciones humanitarias (donantes y ONG).

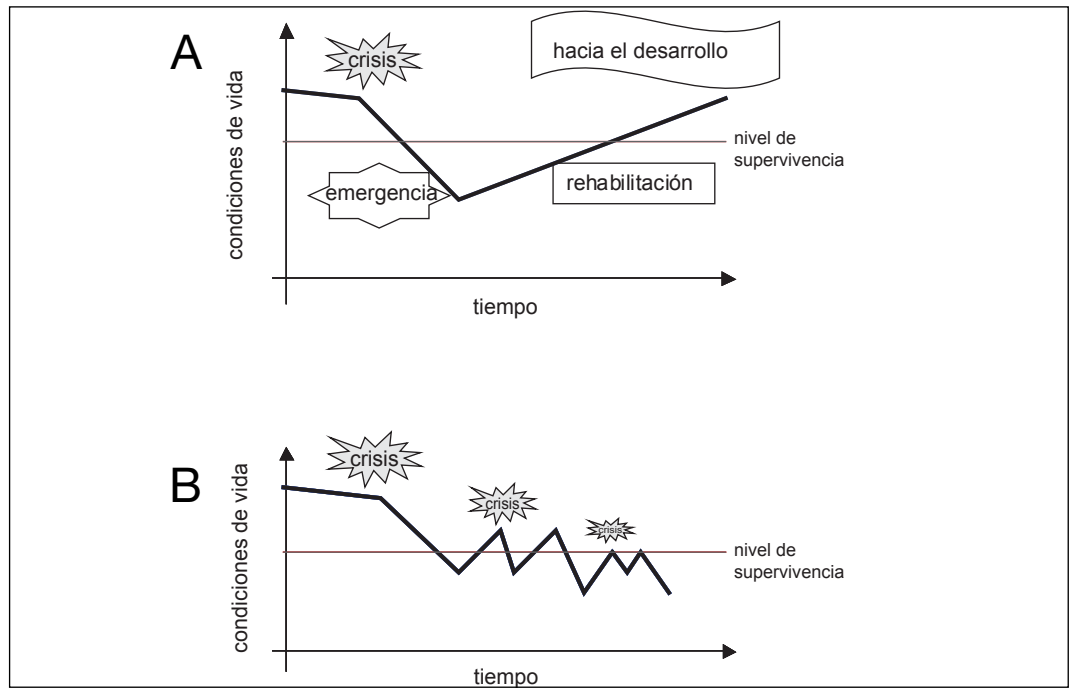


Figura 1.1 – Evolución de situaciones humanitarias. A: Modelo de continuidad. B: Modelo contiguo.

Sin embargo la realidad es mucho más compleja. Las crisis no siguen líneas de evolución simples; las causas y los factores agravantes son variados, y las situaciones pueden experimentar una sucesión de fases de emergencia y de recuperación, que conducen a crisis cíclicas. La población debe,

entonces, afrontar niveles crecientes de inseguridad y dureza socio-económica. Por otra parte, la situación anterior a la aparición del fenómeno causante de la crisis puede que no sea la más deseable como modelo para la recuperación, por lo que será seguramente preferible establecer objetivos distintos.

Reconociendo esta situación tan compleja, se desarrolló más tarde el *modelo contiguo* (Figura 1.1 B). Este modelo adopta la idea de que pueden coexistir varios niveles de respuesta dentro del mismo contexto (la población no está afectada uniformemente por la crisis) y pone énfasis en la idea de que, en la mayoría de los casos, la evolución de una situación no es lineal (hay que prestar atención especial a las crisis cíclicas). Esto pone el concepto de "emergencia" en un marco mucho más amplio que reconoce la importancia de la falta de capacidad organizativa, y refuerza el concepto de preparación para el desastre y gestión de riesgos.

2.3 Mecanismos de respuesta

Los mecanismos de respuesta son variados y la estrategia de cualquier intervención incluye diferentes tipos de respuesta. En cualquier caso, estas respuestas se pueden clasificar como sigue:

Respuestas de emergencia

El principal objetivo consiste en garantizar la *supervivencia* de las personas que afrontan la crisis, atendiendo las necesidades básicas (las más urgentes). La respuesta tiene que ser rápida y efectiva, centrándose en la reducción de la vulnerabilidad a corto plazo. Típicamente, en una respuesta de emergencia la situación general será frágil y existirá una dependencia fuerte de la ayuda exterior. Las respuestas de emergencia son adecuadas principalmente en casos de conflictos abiertos y desastres naturales.

Respuestas para rehabilitación y desarrollo de capacidades

El principal objetivo consiste en ayudar a la creación o restauración de los medios de vida y reducir la dependencia de la ayuda externa. Estas intervenciones se centran en la rehabilitación de las estructuras sociales y de las infraestructuras. En muchas ocasiones, la reparación material y social solamente no basta, ya que las condiciones anteriores al desastre no eran las deseables. Los mecanismos de respuesta se han de adaptar a modelos más adecuados y centrar sus objetivos en la mejora de las condiciones básicas de vida y en la reducción de las vulnerabilidades previsibles a medio plazo. Esto se consigue suministrando una cobertura completa de necesidades con sistemas autosuficientes que impliquen la participación y dotación de poderes a las estructuras locales, comunitarias y nacionales para garantizar la durabilidad. Estas respuestas son apropiadas cuando la situación es todavía frágil pero no existe un gran riesgo para la vida humana, como en situaciones de post-crisis, desestructuración o discriminación.

Intervenciones a largo plazo

Se centran en problemas estructurales, y el objetivo principal es el refuerzo de las capacidades locales existentes, con el fin de mejorar las condiciones de vida de las comunidades de forma duradera y respetando sus derechos.

La participación de las comunidades involucradas en la definición e implementación de los programas es básico en este tipo de intervenciones. Estos programas se centran en la reducción de la vulnerabilidad a largo plazo. Se minimiza el apoyo externo y la implementación se lleva a cabo principalmente por medio de socios locales. Estas respuestas son indicadas en casos de post-crisis y desestructuración social.

Programas de preparación para desastres y gestión de riesgos

Se busca la reducción del impacto de los desastres con la reducción de las vulnerabilidades de la comunidad y el refuerzo de su capacidad de respuesta. Consta de:

– *Prevención:* medidas y actuaciones que eviten o eliminen el riesgo (p.ej.: conservación del suelo, construcción de presas y construcción sismorresistente);

– *Mitigación:* medidas y acciones que reduzcan o disminuyan el riesgo; aumentando las capacidades de las comunidades y disminuyendo las vulnerabilidades (p.ej.: desarrollando las capacidades de las instituciones, educación para los desastres, legislación y planificación, etc.);

– *Preparación (alerta):* medidas para planificar, organizar y facilitar sistemas de alerta, búsqueda y rescate, respuestas de emergencia y rehabilitación en casos de desastre; fortalecimiento de la capacidad de respuesta de los actores locales ante casos de desastre (planes de contingencia comunitarios).

La preparación para desastres es apropiada cuando la vulnerabilidad es elevada y existe una probabilidad elevada de que ocurran. Pueden formar parte de las intervenciones de emergencia, rehabilitación y desarrollo, pero tienen un enfoque a largo plazo.

$$\textbf{RIESGO} = \frac{\textbf{(AMENAZA + VULNERABILIDAD)}}{\textbf{CAPACIDAD DE RESPUESTA}}$$

Nota: lo importante es que la población afectada esté siempre involucrada en las actividades de asistencia. Sin embargo, incluso en algunos proyectos a largo plazo, puede ser conveniente que la implementación de los programas se haga directamente con poca o nula intervención de la población afectada, por razones técnicas o contextuales.

2.4 Intervención técnica e incidencia

El hambre y las crisis humanitarias pueden tener varias causas: naturales, políticas y económicas, como se indica en la Sección 2.1. La mayoría de las crisis humanitarias de finales del siglo XX y principios del XXI han tenido un componente político, como resultado de un fallo dentro del sistema político, al igual que pueden haber surgido por una falta de preocupación de los responsables clave o por un flagrante desprecio de los derechos humanos.

Como consecuencia de ello, una respuesta humanitaria efectiva requiere a menudo tanto una intervención técnica en el campo para cubrir las necesidades creadas por la crisis (ver Sección 3.2) (incluyendo la construcción de infraestructuras, fortalecimiento de la educación y de los lazos comunitarios, apoyo a las instituciones como, p.ej., involucrándose en el desarrollo de una política nacional del agua, tal y como hizo ACF en Timor Oriental, etc.), sino también incidiendo en la opinión pública y las autoridades para luchar contra las causas políticas que han llevado a la situación humanitaria. La incidencia pretende actuar sobre las causas últimas (a menudo políticas y económicas) de la crisis, testimoniando y resaltando un estado de la situación inaceptable en términos humanitarios, con el objetivo de crear un nivel de atención y capacidad de reacción pública que ponga presión sobre los responsables políticos para mejorar la situación. Ejemplos de actividades llevadas a cabo incluyen la recogida de información (identificación de causas políticas y económicas), campañas de alerta, programas de protección de víctimas, concienciación institucional y defensa de los derechos humanos, incluyendo el acceso al agua (ver Sección 3.2).

3 PROGRAMAS DE AGUA Y SANEAMIENTO

El principal objetivo de ACF es *combatir el hambre* y asistir a *poblaciones que afrontan situaciones que amenazan sus vidas.* El agua es esencial para la vida y es, muy a menudo, una prioridad para muchas comunidades amenazadas; además, el agua y el saneamiento forman parte de las causas de desnutrición, como se indica en la Figura 1.2.

3.1 Objetivos del programa

El objetivo global de los programas de agua y saneamiento consiste en *garantizar el acceso al agua y al saneamiento, esencial para la supervivencia y el desarrollo socioeconómico.* En muchos programas la preocupación principal son los riesgos sanitarios y en estos casos el objetivo se centra específicamente en la *reducción de las enfermedades relacionadas con el agua y las condiciones sanitarias deficientes*. Este objetivo global tiene tres aspectos:

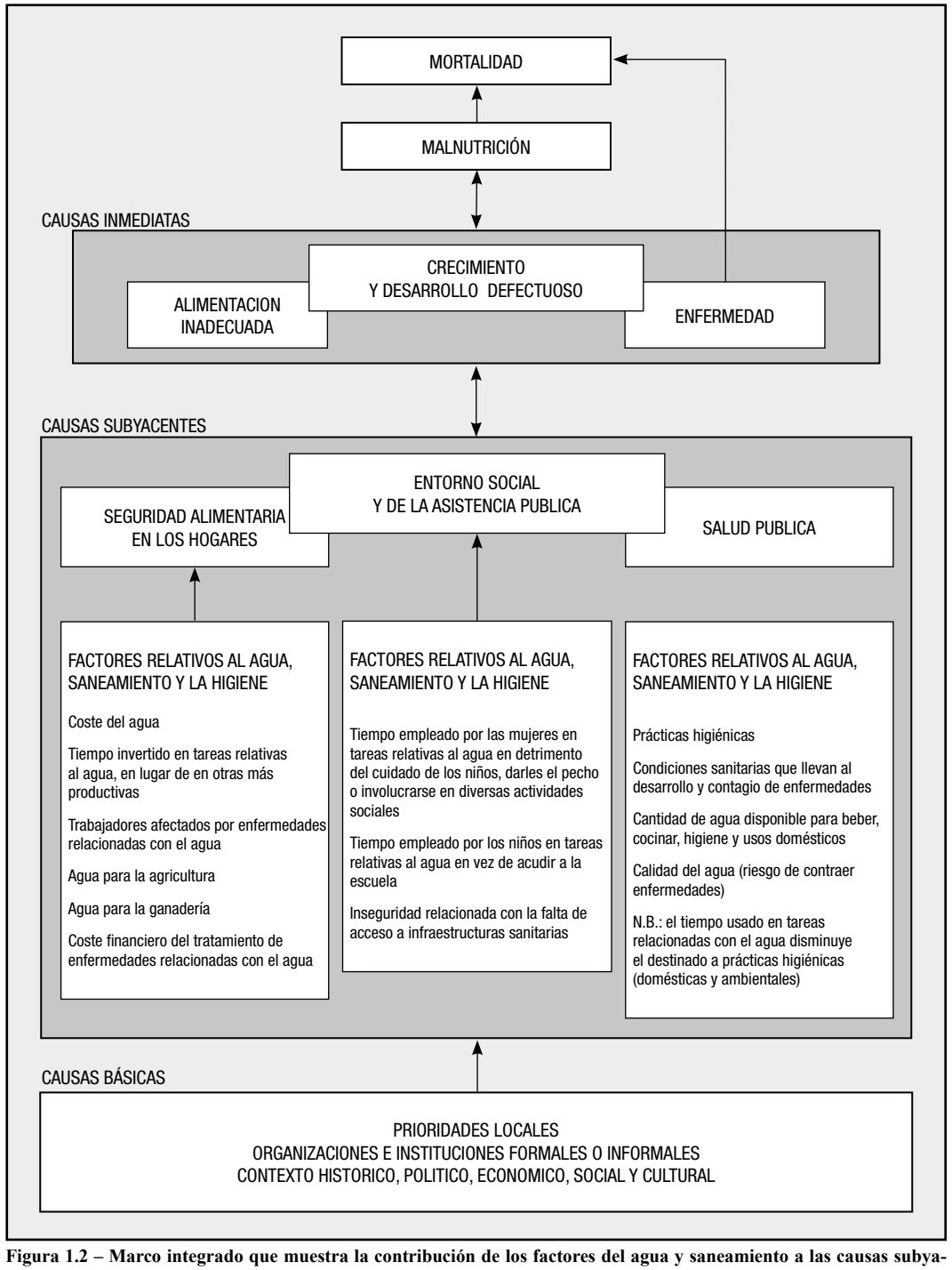


Figura 1.2 – Marco integrado que muestra la contribución de los factores del agua y saneamiento a las causas subyacentes de mortalidad y malnutrición (adaptado de UNICEF, 1990).

1) Proporcionar los requisitos mínimos necesarios para la vida

Si hay una amenaza seria para la vida humana, es preciso reunir las condiciones mínimas para la supervivencia, p.ej. *dotar de infraestructuras mínimas vitales que permitan un acceso al agua y al saneamiento.* En estas situaciones es preciso hacer un análisis específico antes de decidir las normas mínimas y los indicadores de referencia a usar. El proyecto Esfera estableció una serie de indicadores clave como recomendaciones, que sirven de referencia en situaciones de emergencia (ver Cuadro 1.4 y Capítulo II). ACF estuvo presente en la redacción de las dos primeras versiones del manual Esfera.

Cuadro 1.4
El proyecto Esfera.

El proyecto Esfera es una definición global e interactiva de estándares diseñados para su uso en respuesta a desastres, y pueden también ser de utilidad en la preparación para el desastre e incidencia humanitaria. Es aplicable en un rango de situaciones en las que se requiere ayuda, incluyendo desastres naturales y conflictos armados.

Está diseñado para su uso en situaciones que se desarrollan tanto lenta como rápidamente, en ambientes rurales o urbanos, en países desarrollados o en vías de desarrollo, en cualquier parte del mundo. En él se hace énfasis global en la cobertura de las necesidades urgentes de supervivencia de las personas afectadas por el desastre, al tiempo que se reafirma el derecho humano básico a vivir con dignidad.

Los manuales Esfera contienen puntos concretos a considerar cuando se aplican normas e indicadores en distintas situaciones, recomendaciones para abordar dificultades prácticas y consejos en temas prioritarios. Incluyen también temas críticos relacionados con normas o indicadores y describen dilemas, controversias o agujeros de nuestro conocimiento actual. Ver Capítulo II, Sección 1.2 para más detalles.

Actualmente, se está realizando una nueva revisión del Proyecto Esfera, en la que ACF también participa activamente. El objetivo del proceso de revisión no es modificar las normas cualitativas, ni sustituir el Manual actual. Más bien se trata de poner al día los indicadores cualitativos y cuantitativos y las notas orientativas según convenga, poner más de relieve la relación entre los sectores, y corregir las incoherencias, los errores y las omisiones importantes que subsisten en la edición de 2004.

También se tendrán en cuenta las últimas novedades del sector humanitario, como los efectos del cambio climático, la reducción de riesgos de desastre, la protección, la reforma del sector humanitario y el enfoque temático, entre otros aspectos. Se aprovechará la experiencia positiva de las anteriores revisiones y este proceso también se basará en amplias consultas y en la búsqueda de un consenso en torno a los cambios que se introduzcan. Se prevé finalizar la revisión en el año 2010.

2) Reducir el riesgo de propagación de las enfermedades relacionadas con el agua, el saneamiento y la higiene.

En los países en vías de desarrollo, el 80% de las enfermedades están relacionadas con el agua y unos 4 millones de personas mueren anualmente a causa de enfermedades diarreicas relacionadas con el agua y el saneamiento (OMS 2003). Para ACF el agua se ha de tener en cuenta en el sentido más amplio de la sanidad pública, de forma que incluya las condiciones sanitarias y las prácticas higiénicas, responsables principales de la contaminación del agua (contaminación fecal) y del desarrollo de gérmenes patógenos (p.ej. malaria), ver Figura 1.2. Los programas referentes al agua de ACF, incluyen normalmente el suministro de agua, saneamiento, desarrollo de capacidades locales y promoción a la higiene y medioambiental.

Las principales enfermedades relacionadas con el agua, el saneamiento y la higiene se presentan en el Capítulo II, Sección 2.2.

3) Garantizar el acceso al agua como recurso necesario para la seguridad alimentaria y el desarrollo socio-económico

Los medios de supervivencia y desarrollo de muchas comunidades están relacionados estrechamente con la disponibilidad de recursos hídricos (ver Figura 1.2, impacto sobre la seguridad alimentaria de las familias).

Esta dependencia del agua es muy visible en muchas comunidades rurales que dependen de la producción agrícola y ganadera. En estas comunidades las actividades productivas dependen básicamente de un acceso al agua adecuado para el sistema de regadío y para los puntos de abrevamiento del ganado. En regiones áridas y semiáridas (*ASAL,* por el acrónimo inglés), donde los medios de

vida se ven afectados crónicamente por sequías que causan disfunciones en el sistema económico, la construcción de sistemas apropiados de agua y la formación de las comunidades en la gestión de los recursos de agua, pueden disminuir significativamente la vulnerabilidad de las poblaciones rurales frente a la escasez de agua.

La falta de acceso al agua tiene también un impacto fuerte en la economía doméstica, al ser el coste del agua una parte importante del presupuesto familiar (especialmente en zonas urbanas y peri-urbanas). Por ejemplo, en Haití, tras las inundaciones de 2003 que destruyeron la red de agua de Puerto de la Paz y con la incapacidad el gobierno, que acababa de caer, de llevar a cabo la rehabilitación, el precio del agua se multiplicó por cinco y llegó a ser una parte importante del presupuesto familiar. El impacto económico de la falta de acceso al agua puede relacionarse con las tareas relacionadas con el agua que consumen tiempo y energía (principalmente de los niños y mujeres) que de otro modo se dedicarían a actividades educacionales o productivas. El problema es particularmente agudo en zonas remotas de las regiones ASAL donde ACF ha constatado que se dedican varias horas diariamente a la recogida de agua en la estación seca, o en las zonas urbanas donde se consumen horas guardando cola.

Las enfermedades relacionadas con el agua afectan también a la seguridad alimentaria y al desarrollo económico; los enfermos son una pérdida de capacidad de trabajo y el coste de los medicamentos y tratamientos (aunque sean los tradicionales) tienen un fuerte impacto en el presupuesto familiar.

La mejora en el acceso al agua significa que las familias tienen un acceso fácil a la infraestructura que suministra agua en cantidades suficientes. Se hace énfasis en la creación de la capacidad local adecuada para garantizar la durabilidad de este acceso.

Nota: Los proyectos de agua y saneamiento tienen generalmente un impacto positivo en el entorno social, ver Figura 1.2.

3.2 Dominios y actividades de intervención

Las actividades se pueden agrupar en varios dominios de intervención como se indican en las Tablas 1.I y 1.II.

Tabla 1.I: Actividades relacionadas con la incidencia.

La incidencia en los programas de agua y saneamiento se desarrolla a tres niveles distintos:

A nivel individual:

Información sobre los derechos (*).

Promoción de la movilización comunitaria para ayudar a la gente a reclamar sus derechos (*).

A nivel local y nacional:

Informando a personas relevantes sobre los problemas.

Informando a personas relevantes sobre los derechos (*).

Sensibilizando sobre la situación y las posibles soluciones.

A nivel internacional, y en países desarrollados:

Difundiendo información sobre la crisis.

Presentando soluciones viables a la crisis para mostrar que hay soluciones.

Involucrando activamente a la comunidad internacional y a los responsables políticos. Resaltando su sentido de la responsabilidad.

(*) Proclamando que el derecho de acceso al agua y a un saneamiento básico están relacionados directamente con la defensa del derecho a la vida. La atención a este derecho requiere que se pongan a disposición de las comunidades que lo necesiten la infraestructura y los sistemas que permitan una vida digna, pero requiere también denunciar situaciones que impiden a las comunidades o a la gente disfrutar de este derecho.

Tabla 1.II: Dominios y actividades de intervención.

Dominios	Actividades	Dominios	Actividades
Análisis y estudios del contexto	• Estudios socio-económicos relativos al agua • Encuestas CAP • Evaluación de los recursos hídricos existentes y potenciales • Búsqueda de nuevos recursos hídricos	Gestión de residuos sólidos	• Concienciación sobre los residuos sólidos • Hoyos de vertido • Recogida de residuos • Reciclaje • Gestión de residuos sanitarios
Suministro de agua	•Construcción/rehabilitación de puntos de agua: - Pozos sin proteger - Pozos perforados - Manantiales - Captaciones de ríos/lagos - Captación de aguas de lluvia y estanques • Conservación de los recursos hídricos: • Reforestación • Sistemas para agricultura y ganadería • Instalaciones de sistemas de extracción de agua: - Manuales (p.ej. cuerda y cubo) - Gravedad - Bombas manuales/motorizadas - Sistemas solares - Sistemas eólicos • Análisis y seguimiento de la calidad del agua • Tratamiento del agua • Distribución y almacenamiento	Control de vectores	• Análisis del riesgo • Concienciación de la higiene relativa a los vectores • Distribución de mosquiteras • Insecticidas, raticidas y desinfección • Atrapamoscas
		Promoción a la higiene	• Construcción/rehabilitación de estructuras higiénicas - Duchas - Lavaderos - Lavamanos • Distribución de kits de higiene • Educación para la higiene Vías de transmisión de enfermedades y medidas preventivas - Hábitos higiénicos básicos - Uso del agua - Uso adecuado de las letrinas - Higiene y alimentación
		Transferencia de conocimiento y formación	• Reforzamiento de estructuras locales y formación • Constitución de comités de agua y saneamiento • Recogida de datos y diseminación de la información
Vertido de excrementos	• Promoción del vertido controlado • Construcción/rehabilitación de letrinas • Compostaje • Sistemas de alcantarillado • Tratamiento del alcantarillado		• Desarrollo de una política hídrica
Recogida de escorrentías y aguas residuales	• Sistemas de drenaje • Protección de las orillas • Drenaje y tratamiento de aguas residuales	Gestión de riesgos	• Prevención • Mitigación • Preparación (alerta)

4. CRITERIOS DE INTERVENCIÓN

4.1 Consideraciones generales

4.1.1 EL CONCEPTO DE VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad está relacionada con la fragilidad de un grupo o persona en un contexto adverso. Los elementos clave para definir el grado de vulnerabilidad son la exposición al riesgo y la capacidad para afrontarlos.

Globalmente, el nivel de vulnerabilidad de una familia o individuo se determina por el riesgo de que fallen las estrategias para afrontar y reaccionar ante una crisis. La vulnerabilidad de una familia puede definirse como el desequilibrio entre los recursos requeridos y los disponibles, y una insuficiencia de medios necesarios para responder ante una situación. Se refiere a la gama entera de factores que ponen en peligro a las personas, el grado de vulnerabilidad para un individuo, una familia, o un grupo de personas siendo determinado por su exposición a factores de riesgo y por su capacidad de afrontar situaciones de crisis y sobrevivir.

Para una familia, población o región dadas esto significa una combinación de:

– exposición a varios peligros o situaciones que ponen en riesgo a la población;

– y las capacidades potenciales/mecanismos de respuesta que se podrían aplicar para afrontar este riesgo, anticiparlo, resistirlo y recuperarse.

Las crisis/sucesos a los que se ven expuestas las poblaciones son circunstancias y condiciones sobre las que no se tiene un control directo y que presentan un riesgo a su comportamiento normal. Pueden ser desastres climáticos o ambientales (terremotos, inundaciones, sequías, etc.), pobreza (que lleva a condiciones de vida arriesgadas: vivienda precaria, dieta insuficiente, condiciones insalubres, falta de escolarización, etc.), o conflicto social o político (guerra, prejuicios morales, racismo, tensión étnica, dictadura, etc.). Al igual que las capacidades, las vulnerabilidades se pueden clasificar de acuerdo con sus características físicas, sociales, mentales o espirituales.

La vulnerabilidad a menudo implica también la degradación del ambiente social y/o natural: los hogares vulnerables ya no pueden gestionar un equilibrio entre las necesidades básicas a corto plazo (supervivencia) y los medios de vida a largo plazo.

4.1.2 UN ANÁLISIS MÁS AMPLIO PARA LAS INTERVENCIONES HUMANITARIAS, CONCEPTO DE VITALISMO

Durante los noventa, se criticó a las agencies humanitarias por dar asistencia sin considerar el carácter social o político de las poblaciones afectadas por el conflicto, reduciendo por tanto a los seres humanos solo a las funciones vitales fisiológicas que tienen en común con los otros animales. Centrándonos en este principio vital exclusivamente, se criticó a los protagonistas humanitarios por rendirse al vitalismo. En otras palabras, se sugirió que la asistencia humanitaria debería haberse diseñado de otro modo, debió haberse acompañado de una componente psico-social hacia las personas afectadas por el conflicto, centrándose en la dignidad y los derechos humanos (p.ej.: derecho a la justicia).

La misma crítica se puede aplicar a los programas basados en el componente "técnico". Las intervenciones humanitarias no se deben diseñar únicamente con criterios psicológicos, sin tener en cuenta el ambiente social y el equilibrio del grupo considerado. Por ejemplo, la mayoría de los proyectos de agua y saneamiento se justifican por el mal estado que muestran los indicadores de salud pública, y promueven el acceso a instalaciones sanitarias así como cambios en las prácticas higiénicas. En el caso de las poblaciones pastorales, la mayor parte de las razones que causan un ambiente sanitario malo son resultado de las limitaciones derivadas de su régimen de vida que generalmente es el resultado de la adaptación a un medio ambiente árido. La introducción de cualquier cambio en un ambiente con un equilibrio tan frágil debe hacerse con mucho cuidado, analizando en profundidad los riesgos de desintegración social que pueden causar estos cambios, y las respuestas se deben adaptar cuidadosamente a estos factores. En casos extremos, cuando los impactos negativos son demasiado elevados en relación con la agudeza de las necesidades, se debe cuestionar si merece la pena la intervención.

4.2 Criterios generales

El principal objetivo de la ayuda humanitaria consiste en garantizar las condiciones mínimas para la supervivencia de las poblaciones afectadas por una crisis (el ritmo de mortalidad es un criterio clave para la intervención, ver Capítulo II)

En términos generales, las intervenciones se lanzan cuando:

– la supervivencia de la población se ve amenazada;

– las estructuras locales no son capaces de responder a las necesidades y requieren asistencia de emergencia;

– las crisis se repiten y llevan a la desintegración de las comunidades afectadas;

– el estado general de subdesarrollo impide que las poblaciones alcancen niveles mínimos de supervivencia y dignidad humana;

– las comunidades solicitan asistencia.

La Figura 1.3 muestra un ejemplo teórico de la influencia de una crisis sobre las condiciones de vida. La evolución depende del nivel de vulnerabilidad inicial de los grupos de población afectados (representados por varias líneas), del desarrollo de estrategias efectivas para hacer frente a la crisis y de la magnitud de ayuda exterior.

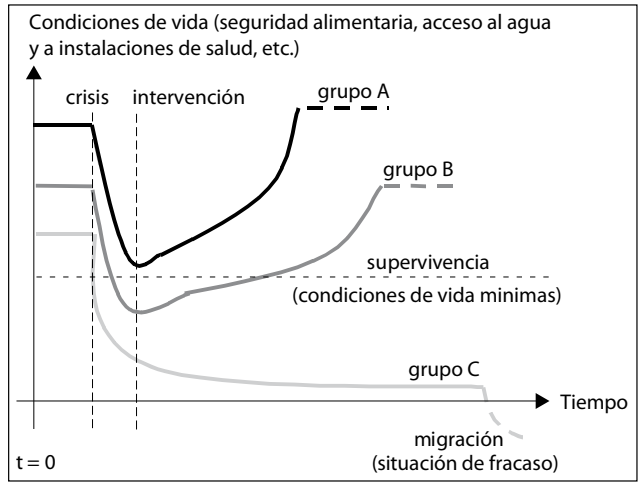


Figura 1.3: Crisis y condiciones de vida.

4.3 Criterios específicos

Las principales situaciones que justifican la aplicación de programas de "agua y saneamiento" de ACF son las siguientes:

– la población no tiene (o ya no tiene) acceso a cantidades suficientes de agua para satisfacer sus necesidades para beber, usos domésticos, agricultura y ganadería;

– la distancia a los puntos de agua limita el desarrollo socio-económico de la comunidad;

– la calidad y cantidad de agua son tales que aumentan los riesgos de epidemia y enfermedades relacionadas con el agua;

– las condiciones de saneamiento ambiental son un riesgo para la salud (zonas contaminadas o insalubres que favorecen la transmisión de enfermedades tales como la malaria o fiebres tifoideas relacionadas con vectores, o enfermedades diarreicas, como el cólera).

Estándares, referencias y recomendaciones (ver Capítulo II y Anexo 2) permiten una evaluación rápida de la situación en comparación con un marco de referencia establecido; no obstante estos valores se deben interpretar de acuerdo con cada contexto específico (ver Cuadro 1.4 y Capítulo II).

El final o la transferencia del programa dependerá de: si se ha alcanzado una cobertura satisfactoria de las necesidades, si se ha alcanzado (o devuelto) una situación de autosuficiencia (a nivel de la comunidad o de las autoridades locales), la presencia de otros actores, y el éxito o fracaso (bloqueo) del programa.

4.4 Población objetivo

Las organizaciones humanitarias centran su trabajo en áreas con mayores necesidades, y allí donde se encuentra la población más vulnerable. La decisión sobre el lugar o momento para dirigir la ayuda se realiza sin considerar la raza, religión o creencias (ver la Carta de Principios de ACF, en la

presentación). Las poblaciones objetivo son:

– comunidades de desplazados o refugiados*;

– comunidades que han perdido sus medios de vida debido a una crisis (conflicto abierto, desastre natural, etc.);

– minorías étnicas o religiosas que son víctimas de un comportamiento discriminatorio de los gobiernos, de otras comunidades, o de otros grupos;

– comunidades *aisladas*, situadas en zonas rurales de difícil acceso, excluidas de los esfuerzos para el desarrollo;

– *comunidades incapaces de mantener unas condiciones mínimas de vida y de dignidad* (p.ej. en zonas peri-urbanas).

Dentro de estas poblaciones objetivo, se prestará atención especial a los grupos más vulnerables, normalmente mujeres, niños, ancianos, personas discapacitadas, enfermos (p.ej. enfermos de HIV/SIDA), y grupos marginales o pobres.

(*) En caso de poblaciones desplazadas, al mezclarse con la población residente, las acciones humanitarias no se han de dirigir sólo a los desplazados. Las necesidades de los residentes deben evaluarse y tenerse en cuenta para favorecer la integración de ambas comunidades y evitar posibles conflictos.

4.5 Definición de prioridades

La evaluación de las necesidades (estado sanitario, encuestas sanitarias, estudios de vulnerabilidad y seguridad alimentaria, inspección de las infraestructuras y de los recursos, conocimiento y prácticas higiénicas, etc.) realizada antes de iniciar la acción, debe dar una idea global de la situación.

El análisis de la cobertura de las necesidades vitales es sistemático y puede, por ejemplo, expresarse en términos de litros de agua potable por persona y día y, en el caso de una población pastoral, en el número de litros por animal y día (ver Capítulo II).

Como los recursos humanos, financieros y técnicos son limitados, hay que definir las prioridades para asegurar la cobertura mínima de las necesidades básicas y el impacto máximo de la acción a realizar:

– Hay que atender prioritariamente a las personas y grupos más vulnerables (ver Sección 4.4).

– Es preferible cubrir las necesidades básicas de toda la población que proporcionar elevadas condiciones de vida a una parte de ella (tanto para saneamiento público como para seguridad alimentaria).

– La cantidad de agua es una prioridad: es preferible tener una cantidad media de agua de calidad media, que tener poca agua de calidad elevada (sin la cantidad de agua necesaria, la higiene personal y doméstica se ven comprometidas, así como otras actividades como el riego de huertas familiares, etc.).

– Romper la cadena de contaminación fecal es una prioridad (p.ej. gestionando los excrementos humanos en un campamento) cuando hay riesgos sanitarios.

– La cobertura de las necesidades debe garantizarse en sitios clave: centros de salud, centros alimentarios, escuelas y sitios públicos.

– En igualdad de condiciones, las comunidades que muestren motivación y buena disposición deben ser atendidas prioritariamente.

– En igualdad de condiciones, se debe intervenir prioritariamente allí donde los recursos de agua permitan una respuesta inmediata.

5 PRINCIPIOS DE INTERVENCIÓN

Hay varios contextos y modalidades de intervención en agua y saneamiento. Sin embargo, se deben respetar un cierto número de principios a lo largo del ciclo de la gestión del proyecto.

Estos principios están diseñados para crear un sentido de responsabilidad en el trabajador humanitario (y también en todos los actores que participan en la gestión de la crisis), quien debe rendir cuentas de sus acciones a la población afectada. El respeto a estos principios a lo largo de todo el ciclo del proyecto garantizará la pertinencia, calidad, efectividad y durabilidad de la intervención.

5.1 Una aproximación directa a las poblaciones

Asegurarse de que las intervenciones llegan a la población objetivo forma parte de la Carta de Principios de ACF. Esto es fundamental, porque da una medida del éxito del programa y permite la comprensión de los obstáculos existentes por parte de las instituciones locales, nacionales o grupos o instituciones internacionales.

Para asegurar una intervención efectiva y equitativa, es esencial la colaboración directa de la población afectada, lo que permitirá al personal llevar a cabo lo siguiente:

– analizar el contexto y definir las intervenciones al tiempo que se escucha a las poblaciones afectadas;

– encontrar la mejor manera de encajar el programa con la dinámica social existente y fomentando las relaciones entre actores;

– hacer un seguimiento del impacto del programa y evitar obstáculos que puedan desviar el programa de su desarrollo normal.

Aunque el papel de ACF sea el de trabajar con y para la población, es importante considerar la capacidad de actuación de las instituciones locales y su papel a medio y largo plazo. Por ello, la implementación de programas puede llevarse a cabo en asociación con organizaciones locales y servicios estatales; la implicación de estos socios depende de sus metas (políticas, religiosas, etc.) y de su capacidad de trabajo. Si estos socios entorpecen la consecución de los objetivos del programa, será aconsejable desarrollar una actuación independiente para alcanzar la cobertura de las necesidades identificadas.

Nota: en la última década, las agencias humanitarias se han visto obligadas a desarrollar intervenciones *gestionadas a distancia* debido a los contextos de la intervención. Esta forma de intervención se usa en ocasiones en las que, por razones de seguridad, el acceso permanente al terreno no es factible. Por ello, se deben implementar procedimientos de seguimiento estrictos para garantizar los resultados.

5.2 Una respuesta que depende del análisis

Para comprender y definir claramente la naturaleza de las necesidades y sus causas, y para definir la respuesta más adecuada a una situación dada, se debe hacer un análisis que permita comprender los diversos factores determinantes.

Este análisis, llevado a cabo tanto al principio como durante la intervención, debe tener en cuenta:

El contexto

– Los factores relacionados con la crisis (políticos, naturales, etc.).

– La situación previa a la crisis (condiciones, recursos, vulnerabilidades, potencialidades, etc.).

– La situación actual y las capacidades existentes y mecanismos de respuesta entre la población afectada.

– Las posibles evoluciones del contexto.

La población

– Peculiaridades locales y restricciones socio-económicas, culturales y religiosas.

– La naturaleza de las necesidades y expectativas de la población.

El entorno:

– El tipo de recursos hídricos disponibles.

– El clima.

5.3 Análisis multidisciplinar

Para reducir la mortalidad y combatir efectivamente la desnutrición, es preciso tener en cuenta todos los factores determinantes potenciales (ver Figura 1.2). El análisis del contexto y la fase de identificación (especialmente las reuniones con la población afectada) deben contar con equipos multidisciplinares (p.ej. agua y salud y/o seguridad alimentaria).

ACF utiliza un enfoque integrado en sus intervenciones cuando es apropiado. Este enfoque integrado incluye *intervenciones curativas y preventivas* en los sectores de nutrición, seguridad alimentaria, agua y saneamiento y salud (atención primaria, salud mental, etc.). Ejemplos de acciones integradas incluyen actividades sobre agua, saneamiento e higiene que complementan proyectos de salud primaria; o proyectos de regadío y agua para ganado que forman parte de otros programas de seguridad alimentaria.

Un enfoque integral no significa que una organización deba desarrollar un paquete de varios tipos de actividades, sino que las actividades que se han identificado como las más apropiadas (según las necesidades de la población afectada) se han de coordinar a lo largo de todas las fases del proyecto. Estas acciones también pueden ser ejecutadas por diferentes actores.

5.4 Implicación de las comunidades afectadas

La participación de las comunidades afectadas a lo largo de todas las fases del programa es importante (identificación de necesidades, implementación, seguimiento y evaluación), ya que garantiza la pertinencia y durabilidad de las acciones en relación con las necesidades.

Los programas deben aspirar a conseguir la implicación máxima de las comunidades afectadas. Dependiendo del contexto de la intervención, el tipo de programa, la fase del proyecto y la comunidad, el nivel de implicación varía desde la consulta simple a la participación activa en el proyecto. Una comunidad desplazada se halla generalmente en situación precaria, habiendo perdido prácticamente todo, y a veces es difícil (o irrelevante en la fase de implementación) convencer a la gente para que participe activamente en el proyecto. Por otra parte, una población estable podría movilizarse más fácilmente para participar en el proyecto y su participación puede ser condición necesaria para la intervención externa.

En relación con la fase de implementación, la participación comunitaria puede hacerse con contribuciones directas (dinero o materiales) a la construcción de infraestructuras o, más corrientemente, en especie, con trabajo físico. Esto permite reforzar el sentido de propiedad de la infraestructura por parte de la comunidad y mejora, por tanto, su gestión.

5.5 Comprensión, respeto e integración de factores locales

Muchas comunidades tienen un conocimiento detallado del potencial de su entorno físico para proporcionar recursos para las acciones productivas o para la medicina curativa o preventiva (y de su potencial para causar enfermedades). En general hay un entendimiento del entorno, no sólo en sentido físico sino también en su relación con los factores sociales y espirituales. Esta visión holística del entorno está integrada en muchas creencias y hábitos culturales que afectan el uso del agua y el comportamiento en relación con el saneamiento (ver ejemplo del Cuadro 1.5).

Cuadro 1.5
Percepciones de lo que está limpio o sucio.
Los conceptos de limpieza y suciedad, lo que está puro y contaminado, están muy desarrollados en muchas religiones y culturas. Además de la referencia a un estado físico, estos conceptos son importantes espiritualmente y ocupan un lugar central en ceremonias religiosas. Por tanto, hay que estar atentos cuando se transmiten mensajes. "Limpio" puede tener significados muy distintos para los promotores del proyecto y para la comunidad. Es crucial examinar el significado tradicional de limpieza y suciedad, pureza y contaminación antes de proceder a movilizar a la comunidad para su participación en un proyecto de saneamiento.

El proyecto ha de determinar cómo hay que tratar positivamente las creencias, el conocimiento y la gestión del medio ambiente comunitario. Lo más importante a tener en cuenta es el *respeto*. En vez de mostrar que los prejuicios, creencias o tabúes de su cultura son absurdos, el personal debe trabajar en la transmisión de mensajes comprensibles y adecuados que pongan de manifiesto las causas del problema y deben buscar una solución efectiva con la comunidad. Cuando se compruebe que vale la pena cambiar alguna costumbre, el respeto ha de guiar el modo en que la información necesaria y la propuesta de cambio se transmiten a la comunidad, para que ésta sea consciente de los beneficios del cambio.

5.6 Impacto sostenible de las actividades

Conseguir que un sistema sea sostenible es una cuestión que se debe plantear desde el comienzo de la definición del programa.

Durante los primeros pasos de una emergencia la respuesta inicial ha de ser rápida y efectiva, sin que la autosuficiencia sea necesariamente un objetivo. Sin embargo, una vez cubiertas las necesidades básicas, la evolución de la respuesta debe planificarse teniendo en cuenta la durabilidad a largo plazo. Para conseguirlo, los factores a tener en cuenta son:

– adecuación de la tecnología al contexto y a la población;
– calidad del diseño y de la construcción de las instalaciones;
– implicación de las comunidades y de las estructuras locales;
– desarrollo de capacidades y formación (gestión, mantenimiento, etc.).

Para alcanzar estas condiciones, hay que ser cuidadosos comprendiendo y respetando los factores socioculturales y económicos, usando la tecnología adecuada y consiguiendo una buena transferencia de conocimientos.

5.6.1 RESPUESTA ADAPTADA A LAS CAPACIDADES Y VOLUNTAD DE LAS COMUNIDADES

La consideración de las características socio-culturales y económicas de la comunidad es una condición necesaria para que el proyecto tenga éxito y sea efectivo.

De hecho, se han de tomar decisiones técnicas conforme a criterios que no son solamente técnicos, sino también sociales y culturales, de modo que las respuestas elegidas sean adecuadas a la forma de vida de las comunidades involucradas.

Para definir un proyecto es necesario, por tanto:

– evaluar tanto *la voluntad* como la *capacidad de gestión* de las comunidades locales;
– respetar *las religiones locales, creencias y tabúes* (en relación al agua, saneamiento, etc.) y adaptar adecuadamente las intervenciones técnicas;
– evaluar los recursos humanos, técnicos, logísticos y económicos requeridos y disponibles para el mantenimiento de las instalaciones;
– respetar la jerarquía social y anticiparse a los conflictos potenciales que puedan surgir por la construcción de puntos de agua (cuál es el propósito del punto de agua y quién debe usarlo).

5.6.2 TÉCNICAS APROPIADAS Y COMPROBADAS

El uso de técnicas adecuadas a las limitaciones socioculturales y económicas de las comunidades (ver Sección 5.6.1), junto con el medio ambiente natural, son condiciones previas para el éxito de cualquier proyecto.

El uso de técnicas de efectividad probada es el medio más seguro de asegurar que la respuesta sea apropiada y duradera.

Sin embargo, hay ocasiones en las que la solución perfectamente adecuada no está disponible. En estas ocasiones, el proyecto debe ser imaginativo y procurar encontrar soluciones diseñadas para otros contextos. Esto requiere:

– un análisis preciso de las necesidades y de los recursos;
– un estudio de las soluciones ya usadas a nivel local, así como la evaluación de las modificaciones necesarias;
– promoción, a nivel regional, de técnicas diseñadas tanto por comunidades locales como por otros actores locales (intercambio Sur-Sur).

5.6.3 TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTOS Y ENTREGA DEL PROYECTO

Desde el comienzo de la puesta en práctica, el proyecto debe contemplar una retirada gradual de la ayuda, con el objetivo final de la retirada total. Es importante dejar claro desde el principio cuáles son los papeles de las comunidades, las autoridades tradicionales y los actores políticos. Se debe prestar especial atención a la propiedad, la accesibilidad y la gestión. Al debido tiempo el proyecto

debe contemplar una entrega oficial de las actividades y de la infraestructura a un grupo legítimo y reconocido.

El adiestramiento técnico y los grupos de mantenimiento constituyen un aspecto esencial que deben ir en paralelo con el desarrollo del proyecto. Hay que hacer una distinción entre la formación dirigida a conseguir que los equipos de operación y mantenimiento sean autosuficientes desde el punto de vista técnico, y la formación dirigida a los usuarios. La capacitación se lleva a cabo sobre el terreno, día a día, pero también se planifican sesiones de formación, juntando a los técnicos con los integrantes de los comités de usuarios (tesoreros, fontaneros, etc.) para acumular experiencias, dar publicidad a los éxitos conseguidos, y permitir el enriquecimiento de conocimientos de todas las partes.

5.7 Actividades de coordinación

La coordinación de todas las partes interesadas es crucial para maximizar el valor de los recursos disponibles, y se debe mantener viva a lo largo de todas las fases del ciclo del proyecto, desde la concepción hasta la evaluación final.

Esta coordinación debe incluir a todas las partes interesadas: las comunidades involucradas, autoridades locales, tradicionales y administrativas, y otras organizaciones presentes (ONG, Naciones Unidas, sector privado, etc.).

5.8 Fortalecimiento de la comunidad

Las crisis conllevan a menudo la ruptura de los lazos comunitarios. La ayuda humanitaria debe procurar *reforzar la cohesión y la organización social* por medio de un enfoque comunitario de la gestión.

La movilización y participación comunitaria durante el desarrollo del proyecto, junto con los comités de los puntos de agua, son una forma de alcanzar este objetivo. La gestión del proyecto ha de ser participativa y democrática para promocionar precisamente estos valores.

5.9 Asuntos relacionados con el género

En la fase de definición del proyecto, es importante comprender el papel y el estatus (vulnerabilidad específica) de las mujeres dentro de la comunidad, así como el papel que jugarán dentro del proyecto.

Siempre que sea posible, se deben asignar a las mujeres trabajos en los componentes del proyecto de promoción de la higiene, saneamiento y gestión del agua. Como son casi siempre las responsables de la educación de los hijos y de las tareas del hogar, su inclusión en el proyecto es una condición necesaria.

Además de este aspecto "técnico", el procurar la participación activa de las mujeres en las actividades del proyecto y en la constitución de comités tiene el valor añadido de *reforzar su papel* en la comunidad.

5.10 Capitalizar a partir de la experiencia y el análisis

La implementación de un proyecto permite obtener una cantidad considerable de información, ya sea sobre el contexto general o sobre las metodologías y técnicas empleadas. Toda esta información es de gran valor para las comunidades, para las partes locales interesadas y demás protagonistas que pueden querer operar en el área. Por tanto, la recogida, análisis e intercambio de la información es invariablemente un objetivo de cualquier programa. Esto requiere:

- la recogida sistemática de datos fiables;
- el uso de bases de datos que faciliten la gestión y el análisis de la información;
- el uso de sistemas de información geográfica (SIG) para un análisis claro y atractivo;
- capitalizar las metodologías de trabajo con notas y manuales;
- compartir y promocionar la información recogida.

5.11 Respeto al medio ambiente

Los proyectos tienen siempre un impacto potencial sobre el medio ambiente natural. Por ello, los riesgos ambientales deben evaluarse en cada intervención y su impacto debe minimizarse.

En todos los casos, es importante sensibilizar a la comunidad afectada y a las otras partes involucradas sobre la gestión adecuada de los recursos hídricos y sobre los factores de riesgo medioambiental.

Particularmente importante es evitar la sobreexplotación de los acuíferos: durante la implementación de programas de perforación o excavación de pozos, los recursos disponibles deben evaluarse sistemáticamente (con estudios geofísicos, ensayos de bombeo, etc.). Esto ayuda a determinar el número de puntos de agua y a dimensionar adecuadamente los sistemas de bombeo elegidos. La recogida de información meteorológica es esencial. Si hay algún riesgo de agotar los recursos subterráneos, se deben considerar recursos alternativos.

La creación de campamentos de refugiados o desplazados genera un riesgo de *deforestación, sobreexplotación y contaminación* de los recursos (p.ej. por los residuos y por las heces), y se requiere una vigilancia constante sobre estos riesgos. Asimismo, en la implementación de proyectos de tratamiento de agua, el vertido de los residuos de la sedimentación se debe llevar a cabo lejos de las corrientes de agua y de los ríos o lagos.

CAPÍTULO II

Gestión del proyecto

1 Gestión de programas sobre agua y saneamiento 23
1.1 Gestión del Ciclo del Proyecto 24
1.2 Guías y normas 26
2 Evaluación de necesidades e identificación del proyecto 28
2.1 Objetivos de la evaluación de necesidades 28
2.2 Enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento 28
2.3 Etapas de una evaluación de necesidades 31
2.4 Recursos y medios para realizar una evaluación de necesidades 32
2.5 Recogida de información 33
2.5.1 Técnicas de recogida de información 33
2.5.1.1 Técnicas participativas 34
2.5.1.2 Encuestas CAP 36
2.5.2 Tipos de información 36
2.5.2.1 Información general 36
2.5.2.2 Información específica sobre agua y saneamiento 37
2.6 Evaluación de necesidades en emergencias 40
2.6.1 Diagnóstico rápido 40
2.6.2 Valoración rápida 40
2.7 Evaluación de salud pública 41
3 Diseño del proyecto 41
3.1 Fase de análisis 42
3.1.1 Análisis del problema 42
3.1.2 Análisis de objetivos 43
3.1.3 Análisis de la estrategia 45
3.2 Fase de planificación 46
3.2.1 Matriz del marco lógico 47
3.2.1.1 Partes de la matriz 48
3.2.1.2 Construcción de la matriz de marco lógico 51
3.2.1.3 Verificación de la lógica de intervención 53
3.2.2 Programación de actividades (plan de trabajo) y recursos. 53
3.3 Redacción de la propuesta 53
3.4 Aprobación y financiación de un proyecto 55
4 Ejecución y seguimiento de un proyecto 55
4.1 Planificación 55
4.2 Gestión del personal 56
4.2.1 Constitución del equipo 56
4.2.2 El papel del director de proyecto 57
4.2.3 Relaciones laborales y contratos 58
4.2.4 Tareas especiales de la dirección 58
4.3 Procedimientos internos 59
4.4 Concienciación sobre la seguridad 60
4.5 Participación comunitaria 62
4.6 Gestión de la información, lecciones aprendidas e informes 62
4.7 Seguimiento 63
5 Evaluación 64

1 GESTIÓN DE PROGRAMAS DE AGUA Y SANEAMIENTO

Este capítulo se centrará en la planificación y ejecución de proyectos de agua y saneamiento. En general, los proyectos pueden ser individuales o pueden estar integrados en un programa más amplio en el que varios proyectos contribuyen a un objetivo global (los proyectos de agua y saneamiento pueden encajar en programas de salud, seguridad alimentaria, educación o desarrollo de capacidades). A pesar de las diferencias de escala y de naturaleza de los proyectos, hay aspectos en la gestión responsable de los proyectos que son universales. El contenido desarrollado en este capítulo se adapta a un contexto humanitario y, más concretamente, a intervenciones de agua y saneamiento.

Este capítulo se basa en la Gestión del Ciclo del Proyecto y en el Enfoque del Marco Lógico. La Gestión del Ciclo del Proyecto requiere un enfoque y un conjunto de herramientas para diseñar y gestionar proyectos utilizadas por la mayoría de las agencias humanitarias y donantes. Sin embargo, hay también agencias que critican duramente el uso de estas herramientas, ya que las etapas del ciclo no son tan claras en realidad y se solapan creando un proceso iterativo. Además, las herramientas del ciclo del proyecto enfatizan en exceso la planificación y el diagnóstico, y ponen poco énfasis en la implementación o la evaluación.

El Enfoque de Marco Lógico es un conjunto de herramientas útiles para planificar y gestionar un proyecto. Su objeto es proporcionar un marco claro y racional para planificar las actividades

previstas y determinar la forma de medir el éxito de un proyecto, teniendo en cuenta simultáneamente factores externos (introducción al LFA, Adam Walsch, 2000).

Las directrices (*guidelines*) y las normas son también herramientas necesarias y complementarias para la preparación y ejecución de proyectos, y se estudian en la Sección 1.2.

1.1 Gestión del Ciclo del Proyecto

El ciclo del proyecto describe las fases de un proyecto desde la concepción hasta la terminación (ver Figura 2.1). El ciclo es una secuencia progresiva en la que cada fase requiere de información, responsabilidades y decisiones importantes. La gestión del ciclo del proyecto es un proceso iterativo, en el que las etapas no son siempre claramente independientes; y la experiencia acumulada durante el proyecto sirve para el desarrollo de las etapas siguientes y para la definición de proyectos futuros.

Hay seis fases principales en el ciclo del proyecto.

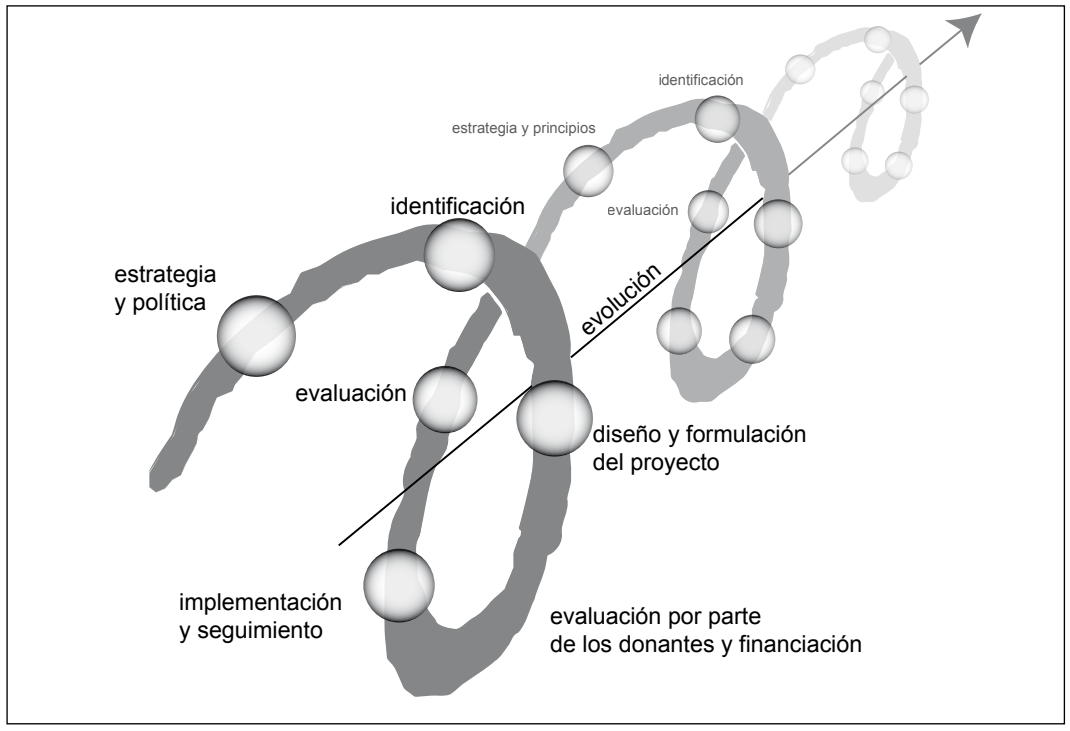


Figura 2.1: El Ciclo del Proyecto.

1) Estrategia y Política

La estrategia y la política son las bases sobre las que se identifican y se preparan los proyectos. Son ellas las que definen los principios, criterios de intervención y metodologías.

Las organizaciones ejecutoras y los donantes definen sus propias estrategias, que pueden desarrollarse específicamente por país o región.

Las políticas nacionales, regionales y sectoriales desarrolladas por los gobiernos y otras agencias también deben tenerse en consideración. En este sentido, es importante que las organizaciones ejecutoras y los donantes trabajen conjuntamente con los gobiernos y otras partes interesadas, contribuyendo también a la definición de estas estrategias y políticas gubernamentales.

Las estrategias se han de revisar periódicamente, actualizarse y mejorarse teniendo en cuenta las experiencias del proyecto y los cambios en el contexto operativo.

2) Identificación del proyecto

En esta fase se emprende la identificación de los problemas y se analizan las opciones principales para afrontar estos problemas. Para desarrollar correctamente el proyecto hay que analizar las capacidades existentes y potenciales de las partes interesadas y entender las características principales del contexto. Todo ello requiere consultar con los beneficiarios previstos, los gobiernos, las ONG y otras partes interesadas, con el fin de asegurarse que se cubrirán las necesidades y se tendrá una buena cooperación.

3) Diseño del proyecto y su formulación

En esta fase se desarrollan ideas, considerando aspectos técnicos y operativos. Una vez definidas las características principales, se evalúa el proyecto respecto a su viabilidad (si va a tener éxito) y su durabilidad (si va a ser provechoso a largo plazo para los beneficiarios). Los proyectos se han de evaluar desde un punto de vista técnico, financiero, económico, de género, social, institucional y ambiental. Las etapas finales de esta fase conducen, a menudo, a la redacción de la propuesta del proyecto y su presentación a agencias donantes potenciales.

Nota: Es particularmente importante separar la fase de identificación del proyecto de la de diseño y formulación. La preparación del proyecto tiene lugar en un contexto social y político, en el que se suscitan expectativas y hay que reconciliar aspiraciones y demandas que están en conflicto a menudo. Manteniéndose firmes en la fase de identificación, se puede establecer sistemáticamente la importancia de las ideas del proyecto antes de que se avance demasiado en el proceso de preparación y se tenga que descartar la idea. Durante la fase de formulación, las ideas del proyecto se pueden desarrollar plenamente con el entendimiento de que se basan en necesidades reales de los beneficiarios y se pueden asumir adecuadamente por las principales partes interesadas.

4) Evaluación por parte de los donantes y financiación

Las propuestas de proyectos son examinadas por la agencia patrocinadora y se toma una decisión sobre la financiación o no del proyecto.

5) Implementación y seguimiento

Se emprenden las actividades del proyecto, con un control sobre la marcha del progreso y realimentación por parte de los beneficiarios y otras partes interesadas. Se debe hacer uso de una gestión adaptativa, o una revisión y actualización continuas para adaptar las operaciones a un contexto de situaciones cambiantes. Incluso puede que se tenga que modificar los objetivos generales a la vista de cambios significativos que puedan haber tenido lugar desde que se formularon los objetivos iniciales.

6) Evaluación y evolución

Hay que revisar los logros y lecciones aprendidas una vez completado el proyecto. Los resultados encontrados en las evaluaciones se usan para mejorar el diseño de proyectos o programas futuros.

Este capítulo suministra una visión general de la gestión de un proyecto y debe completarse con los otros capítulos de este libro.

Aplicando los principios que guían el desarrollo del proyecto, las herramientas y las técnicas analíticas dentro del proceso estructurado de toma de decisiones correspondiente al ciclo del proyecto, se asegurará que:

– Los proyectos permanecen dentro de las estrategias acordadas y de las necesidades de los beneficiarios:

- los proyectos están relacionados con objetivos sectoriales, nacionales y de la agencia implementadora;
- los beneficiarios están involucrados en el proceso de identificación y planificación desde las primeras etapas;
- el análisis del problema es exhaustivo;
- los objetivos están claramente definidos en términos de beneficios para los grupos meta.

– Los proyectos son factibles en el sentido de que sus objetivos son alcanzables realísticamente teniendo en cuenta las limitaciones del entorno en el que se opera y las posibilidades de la agencia que los ejecuta:

- los objetivos son lógicos y mensurables;
- se han tenido en cuenta los riesgos, asunciones y la capacidad de la agencia implementadora;
- el seguimiento se centra en los objetivos importantes.

– Los proyectos son sostenibles:

- los factores que afectan a la durabilidad forman parte del diseño del proyecto;
- las evaluaciones previas obtenidas a partir de lecciones aprendidas en otros proyectos se han tenido en cuenta en el diseño;
- los beneficiarios se han involucrado significativamente en todas las fases del ciclo del proyecto;
- la metodología y la tecnología se han adaptado a la situación específica;
- se utilizan al máximo las capacidades y recursos locales.

ACF es consciente de la importancia de realizar una buena gestión del ciclo de proyecto y por ello sigue trabajando en una continua mejora de sus capacidades y herramientas en este aspecto.

Algunas de las herramientas de las que dispone ACF en la actualidad son:

- Un módulo de auto-formación (e-learning) dedicado exclusivamente a la gestión del ciclo de un proyecto.
- Publicaciones, como este mismo libro o el CD "easyWash".
- Herramientas específicas, como el APR (Informe de Progreso de Actividad), que se describe más adelante.

1.2 Guías y normas

Las normas y procedimientos generales aplicables a los aspectos de un proyecto pueden conducir a guías específicas que apoyan el diseño y la ejecución de los proyectos. Las guías pueden ser establecidas por una serie de partes interesadas (gobiernos, donantes, organizaciones, comunidades) a varios niveles (internacional, nacional, local, organizativo). Las organizaciones implementadoras deben ser conocedoras de todas las guías aplicables, para utilizarlas siempre y cuando sean adecuadas. Hay que prestar atención especial a las respuestas de emergencia, ya que los estándares normales puede que no sean apropiados.

Hay varios tipos de recomendaciones a usar, según los aspectos del proyecto:

– modelos y diseños normalizados (p.ej. tipos de letrina o puntos de agua);

– requisitos mínimos alcanzables (p.ej. calidad del agua o número de personas por bomba manual instalada);

– procedimientos del programa (p.ej. procedimientos estándar de evaluación).

El uso de las recomendaciones sirve para asegurar que los esfuerzos se racionalizan y se simplifican y, con ellas, es más fácil evaluar si las necesidades básicas se han cubierto o no.

Hay dos tipos principales de estándares usados en la gestión de proyectos. Uno se refiere a valores de referencia, diseños, etc. usados como criterios recomendables y de comparación (p.ej. el uso normalizado de un modelo concreto de bomba manual en una región en particular). Pero un *estándar* también representa el nivel de servicio o recursos necesarios para cubrir las necesidades de una población (p.ej. todos los niños de una escuela han de tener acceso a suficiente agua potable). Los estándares mínimos en proyectos humanitarios se enmarcan en este último sentido y se centran en la cobertura de la mayoría de las necesidades básicas.

Los estándares mínimos se han de complementar con indicadores cuantitativos y cualitativos. Durante la fase de identificación del proyecto, los estándares y los indicadores se pueden usar para valorar las necesidades de las comunidades y planificar la intervención. Por ejemplo, se puede estimar la demanda de agua comparando la cantidad de agua disponible por persona y día con un indicador esperado (p.ej. X% de la población tiene Y litros por día menos que el requisito mínimo de 20 litros/persona/día. Un suministro adicional de agua debe garantizar una cantidad adicional de Z m^3 de agua potable al día para alcanzar el estándar mínimo para toda la población).

Se incluyen en el Anexo 1 algunos indicadores de referencia para el agua y saneamiento en situaciones de emergencia y estables. El cuadro 2.1 indica algunos aspectos clave para usar guías y estándares.

Cuadro 2.1
Uso de guías y estándares.

Las guías y estándares deben tomarse como referencias que ayudan a la definición y ejecución de programas, y no como reglas rígidas a seguir de inmediato. Las guías se han definido para tenerse en cuenta en situaciones corrientes y puede que no sean adecuadas en algunos contextos. Cada situación requiere un análisis específico para determinar la relevancia de las guías y en qué medida se pueden aplicar. En cualquier caso, es siempre importante justificar por qué se siguen o no las guías existentes.

No todas las guías y estándares tienen el mismo valor. En los proyectos humanitarios de agua y saneamiento, las prioridades se asignan para garantizar las necesidades mínimas de supervivencia, tales como:

– una cantidad mínima de agua por persona;
– un número adecuado de personas por letrina (junto con otras instalaciones sanitarias).

La prioridad más importante va dirigida al ***suministro de una cantidad mínima de agua por persona. La calidad también se convierte en una preocupación importante cuando existe un gran riesgo sanitario.***

Hay dos guías de uso común en intervenciones humanitarias de agua y saneamiento:

La Guía de la OMS para la calidad del agua potable (www.who.int) proporciona valores de referencia comunes y establece una relación entre la calidad del agua y los riesgos para la salud humana (ver Capítulo VI y Anexo 7).

El Manual del Proyecto Esfera (www.sphereproject.org) que incluye la *Carta Humanitaria* y las *Normas Mínimas de la Respuesta Humanitaria en Casos de Desastre*, que establecen lo que tienen derecho a esperar de la asistencia humanitaria la gente afectada por desastres. El objeto del Proyecto Esfera es mejorar la calidad de la asistencia proporcionada a la gente afectada por desastres y aumentar la responsabilidad del sistema humanitario en la intervención en casos de desastres. Esfera cubre varios frentes: agua y saneamiento, nutrición, ayuda alimentaria, refugios y asentamientos, y servicios sanitarios. Los donantes, los responsables políticos e instituciones se refieren sistemáticamente y a menudo a Esfera en los programas de ayuda. Cada norma se desarrolla como sigue:

– *Normas mínimas:* que son de índole cualitativa y especifican los niveles mínimos que hay que alcanzar en las respuestas sobre abastecimiento de agua y saneamiento (p.ej. Norma Mínima 1 para el suministro de agua: *todas las personas deben tener acceso seguro y equitativo a suficiente cantidad de agua para beber y cocinar, y para su higiene personal y doméstica. Los lugares públicos de suministro de agua han de estar lo suficientemente cercanos a los hogares para que sea posible obtener lo que se considera como el mínimo indispensable de agua).*

– *Indicadores clave:* que son "señales" que permiten comprobar si se ha cumplido con la norma y que constituyen un medio de medir y comunicar el impacto o resultado de los programas, así como la eficacia de los procedimientos o métodos utilizados. Los indicadores pueden ser de carácter cualitativo o cuantitativo (p.ej. El promedio del consumo de agua para beber, cocinar y la higiene personal en todos los hogares es por lo menos 15 litros por persona por día (véanse las notas de orientación 1-8).

– *Notas de Orientación:* que abarcan los puntos que hay que considerar a la hora de aplicar la norma y los indicadores a situaciones diferentes, una guía sobre cómo abordar las dificultades prácticas y consejos sobre temas prioritarios. En estas notas se tratan también cuestiones de importancia crítica relacionadas con la norma o los indicadores, y se describen dilemas, puntos polémicos o lagunas en los actuales conocimientos.

Un error común cuando se usa Esfera es considerar los *indicadores clave* como referencia única sin considerar las *normas mínimas* y las *notas de orientación* (por ejemplo, la gente dice a menudo que la normas mínima Esfera para el suministro de agua es de 15 lit./pers./día pero esto es erróneo: la norma mínima para el suministro y acceso de agua es la que se ha transcrito anteriormente; los indicadores clave pueden ser más flexibles dependiendo del contexto, mientras que las normas mínimas son de aplicación general). Los objetivos del programa se deben basar en las *normas mínimas* que expresan las necesidades básicas de forma cualitativa.

2 EVALUACIÓN DE NECESIDADES E IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

2.1 Objetivos de la evaluación de necesidades

Cualquier intervención o programa debe basarse en necesidades claras y bien definidas. Una evaluación de necesidades es el punto de partida de cualquier proyecto. Se debe planificar bien y asignar los recursos adecuados, con una descripción clara de la forma de hacer la evaluación (términos de referencia). Los objetivos de la evaluación son:

– comprender la situación de las comunidades a través de la identificación de sus necesidades y sus problemas;

– comprender los requerimientos y demandas de estas comunidades y cuál es su apreciación de la situación;

– investigar las capacidades y recursos disponibles;

– recoger y analizar suficiente información para permitir el desarrollo de un plan efectivo.

Las evaluaciones se deben llevar a cabo con un enfoque multidisciplinar y entendiendo que las causas de los problemas son complejas y transversales (salud, seguridad alimentaria, agua, etc.), de forma que es necesario disponer de una imagen global. El equipo que hace la evaluación debe incluir varios especialistas y los análisis se deben hacerse conjuntamente, en estrecha colaboración.

Las evaluaciones deben seguir un desarrollo sistemático, combinando niveles diferentes de análisis: país, región, comunidad y hogar, y prestando especial atención a grupos y comunidades vulnerables.

A la hora de identificar las necesidades de agua y saneamiento, los proyectos deben enfatizar en la relación existente entre agua, saneamiento e higiene con las condiciones de vida básicas, incluyendo:

– salud: enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento, vías de transmisión y causas del desarrollo;

– disponibilidad y producción de alimentos: relación con los ingresos familiares;

– calidad de vida: cómo afecta a la vida de las comunidades el agua y el saneamiento, incluyendo el acceso en términos de tiempo y esfuerzo empleados.

Estos tres factores ya se han desarrollado en el Capítulo I, pero hay que prestar especial atención a las vías de transmisión de enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento. Las evaluaciones deben identificar las relaciones entre agua, saneamiento y enfermedades, identificando las rutas más corrientes de transmisión. La Figura 2.2 muestra las vías fecal-oral de transmisión de enfermedades, y el impacto estimado de diferentes actividades que reducen las enfermedades diarreicas.

2.2 Enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento

Es necesario distinguir entre las enfermedades infecciosas relacionadas con el agua (causadas por organismos vivos y transmitidas por una persona, o por un animal, a otra) y las relacionadas con las propiedades químicas del agua.

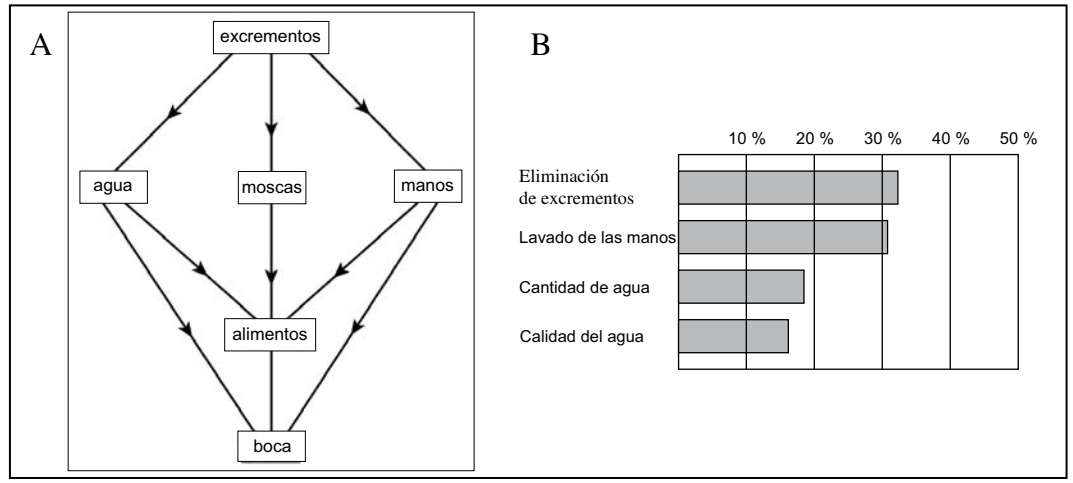


Figura 2.2 A: Vías fecal-oral de transmisión de enfermedades. – B: Impacto estimado de diferentes actividades en la reducción de enfermedades diarreicas (Esrey et al. 1991).

Salud y química del agua

Existen tres causas principales de las enfermedades relacionadas con las propiedades químicas del agua: la ausencia de productos químicos esenciales, el exceso de productos orgánicos dañinos y el exceso de productos inorgánicos también dañinos. La ausencia de productos esenciales en agua no suele ser un problema, ya que hay fuentes alternativas de estas sustancias en otros alimentos y normalmente sólo puede haber complicaciones si hay adicionalmente alguna deficiencia en la dieta (p.ej. falta de yodo que causa bocio, falta de flúor que causa un crecimiento anómalo de los huesos y dientes en los niños). Las enfermedades causadas por elementos nocivos en el agua se tratan en el Capítulo V.

La transmisión de infecciones relacionadas con el agua y saneamiento se produce principalmente por la ruta fecal-oral, pero hay también otras vías que se describen más adelante.

Rutas de transmisión de enfermedades relacionadas con el agua

Hay cuatro tipos de rutas relacionadas con el agua por las que se pueden transmitir enfermedades de una persona a otra (adaptado de Cairncross y Feachem, 1983, *Environmental health engineering in the tropics*):

Ruta basada en el agua como agente transportador: La transmisión tiene lugar cuando los gérmenes patógenos se encuentran en el agua que bebe una persona o animal que, de este modo, se infecta. Este tipo de enfermedades se transmite también por cualquier ruta que permita pasar el material fecal a la boca (vía fecal-oral). Por ejemplo, el cólera se puede propagar por varias vías fecal-oral (p.ej. vía alimentos contaminados).

Ruta basada en la escasez de agua: Se refiere a enfermedades en las que la transmisión se reduciría si se incrementara el volumen de agua usado en las prácticas higiénicas, sin que la calidad del agua tenga nada que ver. Hay tres tipos:

– Infección del tracto intestinal, que incluye las enfermedades fecales-orales (la mayoría enfermedades diarreicas, incluyendo cólera, disentería) que pueden ser producidas también por el agua como agente transportador.

– Infección de la piel o de los ojos (infección cutánea bacteriana, sarna, infecciones cutáneas por hongos, tracoma). Éstas no son fecales-orales ni transportadas por el agua.

– Infecciones transmitidas por piojos, que pueden reducirse mejorando la higiene personal que reduce al mismo tiempo la probabilidad de infección del cuerpo y vestimenta por estos artrópodos.

Hay también otros casos en los que la disponibilidad de agua no es problema (inundaciones, comunidades que viven en ríos o zonas pantanosas), pero los riesgos de enfermedades relacionadas con el agua son elevados: una vez más, la higiene es la clave de la solución.

Ruta basada en el agua en sí misma: La transmisión de enfermedades se produce por patógenos que pasan parte de su ciclo vital en algún tipo de animal acuático (p.ej. caracol). Todas estas enfermedades se deben a la infección de un gusano parásito (helmintos), que depende de huéspedes acuáticos intermedios para completar su ciclo vital. El gusano de Guinea es el único de este grupo que se transmite normalmente bebiendo agua (no es corriente, pero la esquistosomiasis se puede transmitir también a través del agua potable tratada).

Ruta basada en insectos-vectores: La transmisión de enfermedades se produce por insectos que se reproducen en el agua o pican cerca del agua.

Existe otro modelo de clasificación (J. Thompson *Drawers of water II, 2001)* que describe cuatro vías de transmisión caracterizadas por los organismos vivos de cada enfermedad.

La Tabla 2.1 describe las principales estrategias preventivas para las diferentes rutas de transmisión relacionadas con el agua. En el Anexo 5 se incluye información adicional sobre la clasificación ambiental de infecciones relacionadas con el agua.

Tabla 2.I: Vías de transmisión de infecciones relacionadas con el agua. (Adaptado de Cairncross & Feachem 1983, *Environmental health eng. in the tropics*)

Vía de transmisión	Estrategias de prevención
Transportada por el agua	Mejorar la calidad del agua potable Evitar el uso de fuentes no protegidas
Escasez de agua	Aumentar la cantidad de agua disponible Mejorar la accesibilidad y fiabilidad del suministro doméstico de agua Mejorar la higiene
Basada en el agua	Reducir la necesidad de contactos con el agua infectada[1] Reducir la contaminación de aguas supeficiales[2]
Insectos vectores relacionados con el agua	Mejorar la gestión de aguas superficiales Eliminar sitios donde se crían los insectos Reducir la necesidad de visitar los sitios donde se crían los insectos Usar mosquiteras

[1] Aplicado a la esquistosomiasis solamente

[2] La estrategia de prevención más adecuada para los gusanos presentes en el agua depende del ciclo de vida de cada uno y ésta es la única prescripción que se puede ofrecer

Infecciones relacionadas con los excrementos

Algunas de estas infecciones están relacionadas con el agua pero otras no, por ello se usa la clasificación ambiental de las enfermedades relacionadas con los excrementos:

I. Enfermedades de transmisión fecal-oral (no-bacterianas): causadas por virus, protozoos y helmintos presentes en las heces humanas; pueden transmitirse de persona a persona y por contaminación doméstica.

II. Enfermedades de transmisión fecal-oral (bacterianas): causadas por bacterias; se pueden transmitir persona a persona, o por alimentos, cosechas o fuentes de agua contaminadas por materia fecal. Algunas pueden transmitirse por excrementos animales.

III. Transmisión de helmintos (gusanos) por el suelo: varias especies de gusanos parásitos transmiten sus huevos a través de las heces. Requieren un período de desarrollo en suelo húmedo y luego pasan al ser humano por ingestión de alimentos vegetales cultivados en este suelo, o a través de la piel (anquilostomas) penetrando las suelas del calzado.

IV. Tenias en la carne de vaca o cerdo: estas tenias pasan un tiempo en el cuerpo del animal antes de poder infectar al hombre por ingestión de carne que no se ha cocinado suficientemente. Cualquier sistema que evite que los cerdos o el ganado ingieran excrementos sin tratar controlará la transmisión de estos parásitos (es importante también cuidar que las aguas de desecho o fangos no se viertan en terrenos de pasto).

V. Transmisión de helmintos por el agua: los helmintos presentes en los excrementos humanos o animales pasan una etapa de su ciclo vital en el cuerpo de un huésped acuático (generalmente un caracol). Entonces se pueden transmitir al hombre a través de la piel o comiendo alimentos acuáticos cocinados insuficientemente. Es importante que no lleguen al agua excrementos sin tratar.

VI. Insectos-vectores relacionados con excrementos: los hay de dos tipos: primero el grupo de los mosquitos *Culex pipiens* que se crían en agua contaminada (fosas sépticas y letrinas inundadas) y transmiten enfermedades como filariasis, encefalitis, o virus de la fiebre del Nilo; segundo, moscas o cucarachas que se crían en sitios donde hay heces al aire libre, llevan gérmenes patógenos en los cuerpos y en sus tractos intestinales.

El Anexo 5 indica la clasificación ambiental de las enfermedades relacionadas con los excrementos.

Una encuesta debería identificar la presencia de enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento (tasas de mortalidad/morbilidad, pirámide de edades) y analizar las causas. Las soluciones se centrarán en disminuir la transmisión de enfermedades, promoción de la higiene, saneamiento y suministro de agua. También es importante analizar todos los factores que influyen en la transmisión de enfermedades y causan brotes, tales como las malas condiciones ambientales, la elevada densidad de población, etc. Para una presentación más completa sobre las enfermedades relacionadas con el agua y los excrementos, ver el Anexo 5.

2.3 Etapas de una evaluación de necesidades

La evaluación de las necesidades debería ser un proceso iterativo con etapas bien diferenciadas (ver Tabla 2.II y Figura 2.3). Comienza con la fase de preparación, en la que se planifican las actividades y los recursos necesarios para llevarla a cabo. Una vez hecho el plan y se han dispuesto los recursos, es importante que el equipo de evaluación se presente a las comunidades y demás actores involucrados, explicando el objeto de la evaluación. A continuación, una primera visión general sirve para establecer las prioridades y se llevan a cabo las actividades de recogida de información. El análisis de la información comienza al tiempo que se va recogiendo y continúa hasta que se procesa toda la información. Una vez terminado el análisis y obtenidos los resultados de la evaluación, es necesario comunicarlos y transmitirlos.

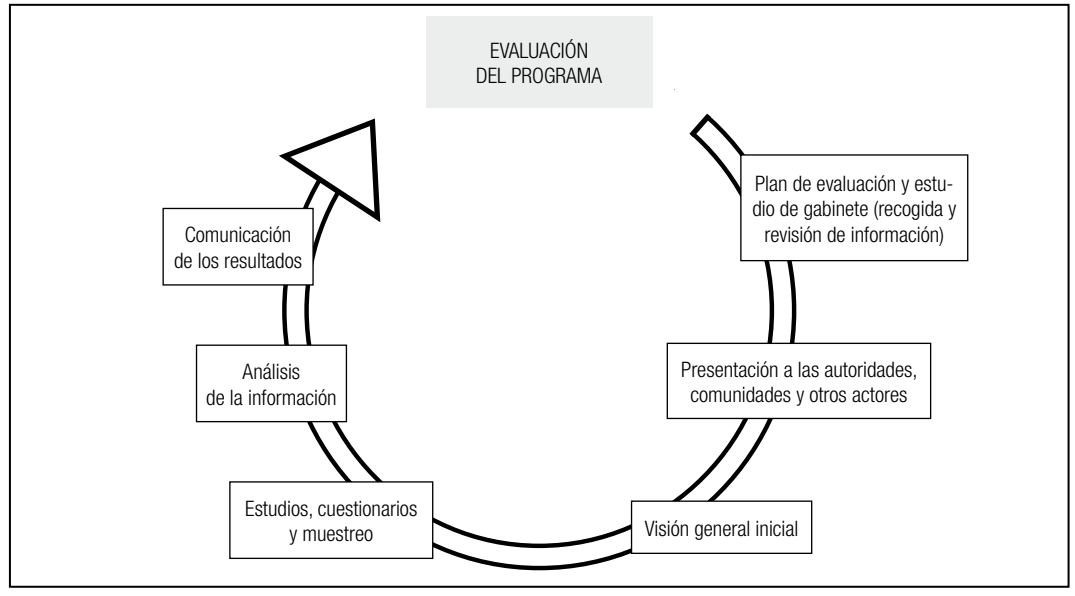


Figura 2.3: Etapas de una evaluación de necesidades.

Tabla 2.II: Componentes de una evaluación de necesidades.

1) Preparación	Recoger y revisar la información previa existente – Términos de referencia – ¿Dónde se está haciendo la evaluación? – ¿Cuánto durará la evaluación? – ¿Qué recursos se requieren (humanos y financieros)? – ¿Qué herramientas y materiales hacen falta? (listas de verificación, ordenadores, GPS) – ¿Qué limitaciones de seguridad hay? Coordinación con otras partes interesadas
2) Presentación a las comunidades, autoridades y otros actores	Presentación de la organización y del equipo de evaluación Explicación de la evaluación, objetivos y requisitos de coordinación Recogida e intercambio de información
3) Visión general inicial	Imagen global de la situación: necesidades principales, actores involucrados, capacidades locales. Identificación de las fuentes de información clave Definición de las comunidades prioritarias y grupos vulnerables Planificación más detallada de las actividades de la evaluación Representación cartográfica básica y listas de verificación generales para la obtención de información
4) Encuestas, cuestionarios y muestreo estadístico para obtener información cualitativa y cuantitativa	Las herramientas utilizadas son variables y dependen del tiempo y los recursos disponibles: – Encuestas de vulnerabilidad – Encuestas de campo – Evaluaciones de salud pública – Grupos de discusión – Entrevistas personales – Mapas – Toma de muestras (análisis del agua, etc.)
5) Análisis de la información	Organización de la información Priorización de la información Conclusiones y recomendaciones Informes
6) Comunicación de los resultados	Comunicación y discusión con las comunidades involucradas y otros actores

2.4 Recursos y medios para realizar una evaluación de necesidades

El tamaño y competencia del grupo de evaluación dependerá de los objetivos y de la magnitud de la evaluación. De todos modos, conviene disponer de diferentes especialistas para lograr un enfoque integral. El equipo debe incluir tanto a técnicos expertos como a personas cercanas a los grupos meta (harán falta también intérpretes si algunos de los integrantes no hablan la lengua local con fluidez). Es especialmente importante que el equipo esté compuesto por hombres y mujeres, ya que un equipo de un solo sexo puede que no sea capaz de obtener una idea completa de la comunidad.

Las previsiones necesarias para transporte, comida y dietas se deben planificar con antelación. El equipo y materiales requeridos dependerán del tipo de evaluación. Sin embargo, se pueden hacer algunas sugerencias:

– lápices y papel para encuestas y cuestionarios (las libretas son útiles);
– materiales para trabajar en grupo: paneles, pizarras, diagramas, etc.;
– folletos y papeles de presentación de la organización;
– GPS, altímetro y mapas;
– equipo técnico de agua: kits de análisis, medidores de profundidad, caudalímetros, altímetros, kits para ensayos de bombeo, equipo geofísico;
– ordenadores y programas: SIG (Sistemas de Información Geográfica) software (p.ej. MapInfo, ArcView, ArcInfo), SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) programas útiles para análisis sociales (incluyendo encuestas CAP, etc.), EpiInfo (programa estadístico para análisis sanitario y epidemiológico), etc.;

El Cuadro 2.2 indica algunos consejos generales a tener en cuenta durante la evaluación de necesidades.

Cuadro 2.2
Consejos generales para las evaluaciones de necesidades.

Hay varios elementos que son fundamentales para obtener una evaluación útil y se deben tener en cuenta desde las primeras etapas preparatorias:

– Se debe asignar el tiempo apropiado a cada etapa.
– El respeto a los protocolos sociales y tradicionales debe presidir todas las interacciones con las comunidades, las autoridades y los líderes locales, en términos de:
  • hacer uso de los modales tradicionales;
  • vestir respetuosamente;
  • escoger el lugar adecuado para las presentaciones de modo que se sientan a gusto los demás;
  • organizar la entrevista siguiendo un orden, pero dejando que los demás expresen libremente sus ideas y comentarios;
  • crear confianza: no empezar con los temas más delicados, procurando ganar primero la confianza de los entrevistados;
  • limitar la transcripción: anotar todo lo que alguien está diciendo puede resultar intimidatorio.
– El equipo se debe reunir diariamente para recapitular, generar ideas colectivamente, planificar actividades, mejorar metodologías, etc.
– El análisis de la información debe hacerse continuamente durante cada fase, no sólo al final. Esto permitirá ir modificando y adaptando el proceso de evaluación.

La comunicación de los resultados a las comunidades y otros actores involucrados es importante tanto para mantener a todo el mundo informado como para verificar y completar la información. Antes de abandonar la comunidad es aconsejable informar de las principales conclusiones de la evaluación.

2.5 Recogida de información

Se recomienda seguir un proceso secuencial de recogida y análisis de datos. La información cuantitativa se debe completar con la cualitativa. Las cifras y las estadísticas se deben analizar y explicar de modo que sean comprensibles a la comunidad.

La información de la comunidad se debe recoger de modo participativo. El enfoque puede variar según los grupos o, incluso, dentro del mismo grupo. Puede ser necesario usar enfoques distintos para niños, mayores, personas marginadas, mujeres, etc. El género debe ser un tema principal en las evaluaciones.

2.5.1 TÉCNICAS DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN

La elección de técnicas y herramientas para la recogida de información depende del tiempo y de los recursos disponibles. Hay cinco técnicas principales:

– *Revisar la documentación existente*. Se puede realizar durante todo el proceso de evaluación, y la información recogida se debe analizar y referenciar.
– *Llevar a cabo encuestas de campo y evaluaciones de salud pública*. Son importantes tanto las mediciones técnicas (análisis de agua, datos de localización GPS, profundidad de la capa freática) como las observaciones cualitativas directas (p.ej. las colas en los puntos de agua).
– *Entrevistas personales* (si es difícil cubrir toda la población objetivo se puede seleccionar una muestra representativa de personas de entre la comunidad).
– *Entrevistar informadores clave.* Seleccionar personas que pueden suministrar información sobre temas generales o específicos: maestros, autoridades locales, personal sanitario, gestores de puntos de agua, líderes de organizaciones de mujeres, etc.
– *Discusiones con grupos específicos*. Grupos de 5 ó 10 personas son bastante adecuados. Grupos mayores requerirán entrevistas más elaboradas y con personal de mayor aptitud. Técnicas PRA (*Participatory Rural Appraisal*, ver Capítulo XX) requieren de la participación del grupo y son útiles para la obtención de información. Los grupos homogéneos (por edad, género o estatus social) pueden ser muy útiles porque las personas pueden expresarse con mayor franqueza sin tener presión de otros grupos presentes.

Las entrevistas requieren buenas aptitudes y experiencia para obtener información útil. Es importante hacerse entender adecuadamente, y es mejor hablar la lengua local o tener un buen traductor que esté familiarizado con la comunidad y sus integrantes (ver Cuadro 2.3).

La mayor parte de la información es subjetiva y representa generalmente puntos de vista o intereses personales. La información de una sola persona puede no representar la realidad de toda la comunidad. El entrevistador debe observar la actitud del entrevistado y obtener información de varias fuentes.

Cuadro 2.3
Técnicas para entrevistar.

La forma de preguntar es importante para obtener información útil. Las reglas básicas son:

– Crear confianza.

– El entrevistado debe estar cómodo con el entrevistador. A menudo, es una buena idea que el entrevistador sea una persona de la propia comunidad tras recibir el entrenamiento adecuado. Se recomienda también integrar mujeres en el equipo de evaluación, ya que en muchas culturas las mujeres entrevistadas serán más francas con otras mujeres.

– Seguir una secuencia establecida.

– Ir de cuestiones generales a otras más específicas. Empezar las preguntas con palabras como: ¿quién? ¿qué? ¿por qué? ¿cuándo? ¿dónde? ¿cómo? La entrevista será más efectiva si se lleva a cabo de un modo informal, como si se tratara de una conversación normal. No debe parecerse a una discusión o a un tenso interrogatorio.

– Seguimiento.

– Si una pregunta general conduce a una respuesta que contiene más de una idea, hay que seguir con preguntas específicas sobre cada idea.

– Evitar preguntas capciosas.

– Cuidado con las asunciones. Si el entrevistador induce a una respuesta con su pregunta, se pueden perder otras posibilidades. Ejemplos de preguntas con/sin respuestas implícitas:

• Con respuesta implícita: "¿recoges el agua del pozo?" Sin implicación: "¿de dónde *recoges el agua?"*

• *La pregunta capciosa "¿dónde lavas la ropa, en el pozo o en el río?", se debe formular mediante varias preguntas, primero preguntar "¿para qué usos necesitas agua?" y cuando se tiene la lista de usos, preguntar para cada uno "¿de dónde tomas el agua para este uso?".*

– Evitar preguntas ambiguas y palabras o conceptos desconocidos:

• *La pregunta "¿Es difícil obtener agua?" puede interpretarse como que es difícil llegar al punto de agua (pendientes pronunciadas o lejanía) o dificultad para encontrar el sitio donde se halla el agua.*

• *Cantidades y medidas (distancia, volumen, peso, tiempo, etc.) que son familiares al entrevistador pueden no ser conocidas al entrevistado. "¿Cuántos litros consumes al día?" puede ser inapropiado si el entrevistado no tiene claro la cantidad asociada a un litro. Los entrevistados pueden tratar de responder en términos de unas unidades que desconocen o con las que no están familiarizados con tal de cooperar en la encuesta. Es mejor que las preguntas sean simples y solicitar las respuestas en términos que sean familiares al entrevistado. Por ejemplo, si se ven "jerrycans" en casa del entrevistado, preguntar cuántas se usan diariamente. Sobre las distancias, usar referencias familiares, por ejemplo, el punto de agua está situado a una distancia el doble que la escuela. Más que preguntar cuantas horas se invierten en la recogida de agua, se debe encontrar el medio de asociar el tiempo a actividades diarias, por ejemplo usando horas de comidas, "me voy tras el desayuno y regreso antes d*el almuerzo".

– Verificar la información por varios medios (diferentes fuentes de información) para comparar y determinar su validez.

2.5.1.1 TÉCNICAS PARTICIPATIVAS

Las técnicas participativas son un enfoque (y una familia de metodologías) para aprender de forma conjunta con las comunidades locales, y así poder planificar intervenciones apropiadas conjuntamente.

Bases de las técnicas participativas:

– Triangulación: Análisis del problema desde varias perspectivas:

• Usando varias técnicas y recursos (observación, bibliografía, encuesta).

• Reuniones con varios grupos meta (hombres, mujeres, jóvenes, ancianos, gente marginal, etc.).

• Usar más de un equipo de evaluación.

– Detectar posibles lagunas en la información: seleccionar solamente grupos específicos puede que no represente la realidad de toda la comunidad. Algunos errores comunes en la recogida de información se deben a:

• Acceso fácil: los sitios con acceso más fácil puede que no sean los más representativos.

• Variaciones estacionales: los problemas y la vida pueden ser diferentes según la estación. Asegurarse que se tiene en cuenta esto en la recogida de la información.

• Puntos de vista personales: este factor variará entre los entrevistados. Asegurarse de entrevistar a varias personas que reflejen puntos de vista distintos, no sólo a los líderes de la comunidad.

• Acceso a las mujeres: puede que sea difícil hablar con las mujeres. No obstante, es esencial hablar directamente con las mujeres. Puede que sea necesario hacerlo en ausencia de hombres para que la información sea más exacta.

• Expectativas de la población: por ejemplo, si una comunidad sabe que la organización trabaja en agua, puede que el agua sea aparentemente la prioridad más importante porque están tratando de conseguir la máxima ayuda posible. Sin embargo, una intervención para suministrar agua puede que no sea la más indicada.

• Cortesía: la gente puede que tienda a complacer al entrevistador con sus respuestas y no informar correctamente sobre la situación real.

– Saber cuando detener la recogida de información. No es posible saberlo todo. Con el tiempo y los recursos asignados, el responsable del programa decidirá en algún momento que ya se ha recogido bastante información.

Las técnicas PRA (*Participatory Rural Appraisal*, evaluación rural participativa) son un buen ejemplo. Las técnicas PRA se originaron a partir de las RRA (*Rural Rapid Appraisal*, que usaban encuestas basadas en cuestionarios, populares hasta los años 1970). Las PRA se desarrollaron para suministrar un enfoque menos inquisitivo y más participativo, que proporciona a las comunidades un sentido de propiedad del proceso y de los resultados.

Los principios del PRA se describen en el Cuadro 2.4 y las principales técnicas participativas usadas se indican en la Tabla 2.III.

Cuadro 2.4
Técnicas PRA. Principios clave.

Participación: La propia gente local son socios en la recogida de datos y en su análisis.
Flexibilidad: No hay una metodología estricta. Todo depende del objetivo, recursos, habilidades y tiempo.
Trabajo de equipo: personas internas y externas, hombres y mujeres, diferentes disciplinas.
Eficiencia en coste y en tiempo, pero con tiempo suficiente para el análisis y la planificación.
Exhaustivo: para la validación y fiabilidad, se deben usar técnicas de verificación cruzada y muestreo estratificado.

Tabla 2.III: PRA. Técnicas clave.

Entrevistas/conversaciones: individuales, familiares, grupos específicos, reuniones de comunidad.
Línea histórica.
Representaciones gráficas: mapas comunitarios, personales, institucionales.
Escalas de valoración: problemas, preferencias, bienestar.
Árboles de problemas.
Análisis de tendencias: Diagramas históricos, calendario de las estaciones, gráficos de actividad diaria.
Perfiles de género.

Las técnicas PRA se explican con más detalle en el Capítulo XX.

2.5.1.2 *ENCUESTAS CAP*

Las encuestas CAP (Conocimientos, Actitudes y Prácticas) se centran en el comportamiento y hábitos higiénicos y, junto con las técnicas participativas, sirven para entender e identificar los enfoques de las comunidades hacia estos temas. Las encuestas se llevan a cabo para entender mejor las razones por las que la gente no hace uso de prácticas higiénicas adecuadas. Puede que sea porque no tienen los conocimientos necesarios, que haya algo en la cultura o las actitudes locales que interfiera, o que se hayan abandonado las buenas prácticas aunque la gente tenga los conocimientos y actitudes adecuados. Las encuestas CAP son útiles también para medir el impacto de los proyectos de promoción de la higiene e identificar dónde se han producido cambios. Las encuestas CAP se explican con mayor detalle en el Capítulo XXI.

2.5.2 TIPOS DE INFORMACIÓN

Para efectuar una evaluación sobre agua y saneamiento se requiere en primer lugar una visión general de la situación (cuáles son las necesidades principales y cuáles son los principales problemas que afectan a la comunidad) así como un buen entendimiento en todos los aspectos (salud, seguridad alimentaria, educación, etc.). Una vez conseguido esto, ya se puede proceder a un análisis más profundo de los temas relativos al agua y saneamiento.

Se debe recoger información a nivel macro y micro, sobre informes, mapas, bases de datos, etc. Se debe prestar especial atención a la definición de los indicadores que describan mejor las necesidades básicas.

2.5.2.1 *INFORMACIÓN GENERAL*

La información general más importante a recoger durante la fase de identificación del proyecto es:

– Características geográficas: principales lugares, límites, clima, vegetación (acompañados de mapas si es posible). Impacto de desastres naturales.

– Población: Números y demografía (edades, sexo, grupos étnicos, religión, población nómada, migración urbana/rural, grupos vulnerables).

– Política: Estructura de las comunidades, autoridades locales y tradicionales, conflictos entre grupos.

– Cultura y religión.

– Recursos: producción, comercialización, indicadores de bienestar.

– Disponibilidad de alimentos:

- mercados: tipo de productos, precios, acceso
- producción local:
  - agricultura: calendario estacional;
  - ganadería;
  - otros recursos;
- ayuda alimentaria recibida:
  - cantidad por persona y día;
  - tipo de distribución, duración y agencia responsable;
- acceso a alimentos:
  - reservas familiares;
  - actividades productivas;
  - mecanismos de adaptación para afrontar eventualidades (cambios en las tendencias de consumo, descapitalización, mecanismos de ayuda mutua, etc.).

– Educación: niveles de escolarización y analfabetismo, condiciones generales en las escuelas.

– Salud:

- enfermedades comunes, prevalencia e incidencia de enfermedades relacionadas con el agua y saneamiento;
- riesgos de epidemias: lugares y periodos críticos;
- tasas de mortalidad y morbilidad: principales causas de muerte;
- condiciones generales de las estructuras sanitarias;
- acceso a servicios sanitarios y medicamentos.

– Estado nutricional (estudios antropométricos, relación altura-peso).

– Capacidades locales: disponibilidad de suministros en el mercado local, capacidad de los contratistas locales, capacidad de dirección por parte de las autoridades locales, etc.

– Situación de la seguridad.

– Comunicaciones: accesos, caminos, transporte, teléfono, radio, correo electrónico.

– Cobertura general en agua y saneamiento.

– Gestión del riesgo.

– Capacidades de alerta y preparación.

– Actores involucrados y áreas de trabajo: donantes, organizaciones y agencias internacionales, organizaciones locales, estructuras locales, empresas, profesionales individuales, escuelas, universidades o centros de investigación.

Los indicadores clave sirven para medir adecuadamente la situación y su evolución. El uso y el cálculo de los indicadores clave se indican en el Anexo 2.

2.5.2.2 *INFORMACIÓN ESPECÍFICA SOBRE AGUA Y SANEAMIENTO*

La información específica relativa al agua y saneamiento se desarrolla así:

1) Información relativa a las necesidades más básicas:

– Enfermedades relacionadas con el agua.

– Cantidad de agua para los diferentes usos y requerimientos (consumo humano, agricultura, ganadería, necesidades ambientales, otros usos).

– Acceso al agua: distancia desde el hogar al punto de agua y tiempo empleado. Tiempo esperado haciendo cola y quién recoge el agua. Número de personas que usan el punto de agua y presión en el punto de agua.

– Análisis de la calidad del agua en varios puntos (en el grifo, a lo largo del transporte, almacenamiento, distribución, consumo). Identificación del origen de la contaminación.

– ¿Hay algunos estándares mínimos que sirvan de referencia?

2) Información relativa a reglamentaciones existentes

– Leyes o tradiciones a nivel nacional, regional y local en relación con el agua y saneamiento.

– Existencia de guías y soluciones normalizadas.

3) Recursos de agua (Tabla 2.IV A)

– Recursos en explotación y potenciales.

– Características de los recursos: calidad del agua, capacidad de suministro, definición de los acuíferos.

– Información sobre prospecciones: estudios geológicos, mapas, fotos aéreas o de satélite, estudios sobre recursos hídricos.

– Variaciones estacionales de caudal.

– Calidad del agua.

4) Sistemas de abastecimiento de agua

– Número y características de los puntos de agua existentes (Tabla 2.IV B).

– Tipo.

– Condiciones y limpieza.

– Caudal.

– Calidad del agua.

– Fecha de construcción, constructor.

– Propietario.

– Origen del agua.

– Sistema de conducción: tipo (gravedad, bombeo, etc.) y características (Tabla 2.IV C).
– Sistema de tratamiento.
– Necesidad de tratamiento.
– Tipo de tratamiento.
– Seguimiento del tratamiento (análisis del agua).
– Tratamientos en el hogar (hervir, filtración con paños, etc.).
– Disponibilidad y tipo de desinfectantes y/o filtración.
– Sistemas de suministro de agua.
– Distribución por puntos de agua (grifos).
– Camiones cisterna: volumen de almacenamiento, calidad del agua, modalidad de suministro final, gestión del suministro, problemas de acceso.
– Redes de distribución de agua.
– Tipo de red (gravedad o bombeo).
– Cantidad y calidad del agua suministrada.
– Depósitos de almacenamiento: tipo y volumen.
– Características de la tubería (longitud, diámetro, materiales, accesorios, elementos de control, presiones).
– Distribución de agua: (número y tipo de grifos, lugares públicos). ¿Quién va a recoger el agua?

5) Recipientes y forma de manejar el agua en los hogares, tipos, volumen, limpieza, almacenamiento

6) Gestión del agua
– Horas de uso.
– Gestión.
– Propiedad.
– ¿Los usuarios pagan las cuotas?
– ¿Limita el precio el acceso al agua?
– Capacidades para el mantenimiento y nueva construcción (disponibilidad de personal entrenado, equipos, materiales y piezas de repuesto).
– Acceso restringido a los animales.

La información sobre el saneamiento y la promoción a la higiene requiere un buen conocimiento de las creencias y hábitos sociales (ver Capítulos XX y XXI). La principal información requerida se enumera a continuación:

– Instalaciones sanitarias:
- Vertido de excrementos, características y condiciones.
  - Letrinas:
    Tipo y condiciones.
    Cobertura (personas por letrina, % de personas que usan letrina).
    Letrinas públicas/letrinas familiares.
    Vaciado y vida esperada.
  - Características del sistema de alcantarillado.
  - Existencia de tratamiento de aguas grises y aguas negras.
- Instalaciones higiénicas (ríos, duchas, lavaderos, etc.).
  - Cobertura de estos servicios.
  - Tipo y condiciones.
  - Desagües.
- Gestión de residuos sólidos.
- Problemas de inundación o encharcamiento debidos al mal desagüe.

Tabla 2.IV: Tipos de recursos hídricos, puntos de agua y sistemas de extracción.

A: RECURSOS HÍDRICOS	
Lluvia	Distribución anual de las precipitaciones
	Cálculo del agua recogida en la cuenca
Aguas superficiales	Volumen de agua explotable
	Acceso al recurso: distancia al asentamiento, topografía
	Durabilidad del recurso: ritmo de aumento y disminución
	Calidad del agua
Aguas subterráneas	Localización del acuífero
	Capacidad de explotación
	Características geofísicas
	Ritmo de recarga
	Calidad del agua (arsénico, etc.).
B: PUNTOS DE AGUA	
Lluvia	Volumen diario de agua disponible: depende del régimen de lluvias, cuenca de recepción, almacenamiento y sistema de consumo
	Porcentaje anual de disponibilidad de agua
	Calidad del agua
Pozos perforados	Profundidad, equipos, ritmo de recarga, variación estacional, rendimiento, diámetro, tipo de camisa, localización del filtro
	Calidad del agua
	Sistema de bombeo
	Fecha de puesta en marcha
	Propiedad
	Constructor y técnica de perforación
Pozos abiertos	Tipo: tradicional, protegido, tipo de entibado
	Características: profundidad, variación estacional, ritmo de recarga, caudal, diámetro, situación de la captación
	Sistema de extracción: bombas, poleas, etc.
	Fecha de puesta en marcha
	Propiedad
	Calidad del agua
Manantiales	Caudal, variaciones estacionales
	Protección del manantial (captación)
	Distancia a la aldea
	Sistema de distribución
	Calidad del agua
C: SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DEL AGUA	
Manual	Capacidad de extracción
	Limpieza del equipo (cuerda y recipiente)
	Calidad del agua (especialmente los parámetros bacteriológicos) e identificación de la fuente de contaminación
Bombas manuales	Tipos
	Características
	Caudal
	Longitud de tuberías y profundidad del cilindro
	Calidad del agua (bacteriológica, hierro, etc.)
Bombas motorizadas	Potencia y características eléctricas
	Curva de la bomba, caudal y altura manométrica total
	Profundidad de la bomba, diámetro, longitud de los tubos
	Calidad de agua (bacteriológica y hierro, etc.)
	Horas de funcionamiento por día
Sistemas solares	Potencia y características eléctricas
	Curva de la bomba, caudal y altura manométrica total
	Horas de funcionamiento y capacidad de suministro por día de trabajo, según la época del año
	Programa de mantenimiento
	Calidad del agua
Bombas eólicas	Características del bombeo
	Características del viento
	Horas de funcionamiento y capacidad de suministro por día de trabajo, según la época del año
	Calidad del agua
	Gestión
	Propiedad

– Hábitos higiénicos:

• Conocimiento, uso y hábitos.

• Disponibilidad de jabón y productos higiénicos.

– Vectores más importantes de transmisión de enfermedades. Identificación de las áreas más expuestas.

– Condiciones ambientales.

• Características relacionadas con los recursos hídricos: fuentes de contaminación, sobreexplotación.

• Deforestación, problemas de erosión.

• Agua estancada, sistemas de drenaje.

El cálculo de indicadores clave relacionados con el agua, saneamiento e higiene se incluye en el Anexo 2.

2.6 Evaluación de necesidades en emergencias

Las herramientas y métodos de evaluación deben adaptarse en respuestas de emergencia. El tiempo es una limitación importante y afectará a la forma de llevar a cabo las evaluaciones.

2.6.1 DIAGNÓSTICO RÁPIDO

El diagnóstico rápido es la primera actividad que se emprende cuando ocurre un desastre. Se debe empezar inmediatamente y ha de completarse cuanto antes, generalmente en pocos días.

Tiene por objeto conseguir información suficiente para decidir si la agencia debe responder o no. No pretende ser una evaluación detallada de la situación y a menudo ni siquiera requerirá el envío de personal al terreno. La información se puede obtener de:

– Medios de comunicación locales/nacionales como la TV, radio, periódicos, internet, agencias especializadas de ayuda (IRIN, etc.).

– Estableciendo contacto con otras agencias, ONGs, departamentos del gobierno, agencias de Naciones Unidas, etc.

– Contactos individuales.

El tipo de información requerida incluye:

– Si el desastre representa una amenaza generalizada a la vida de las personas y, si es así, de qué modo.

– Cómo y cuándo ocurrió el desastre.

– La magnitud de la destrucción producida por el desastre.

– El área afectada y el impacto.

– El número de personas afectadas y grado de afectación.

– Capacidad de las estructuras/recursos locales para enfrentarse al desastre.

– Medida en la que otras agencias (locales, nacionales o internacionales) son capaces y están dispuestas a intervenir, y si una posible respuesta es adecuada.

– La situación de la seguridad.

Si la decisión inicial es:

– *No se requiere acción alguna* – el desarrollo del desastre debe vigilarse y volverse a visitar si, y cuando, las circunstancias cambien.

– *Es preciso actuar* – se debe redactar un documento conceptual (*concept paper*) detallando la evaluación que se debe llevar a cabo, incluyendo términos de referencia. En desastres severos, esto tendrá lugar con mucha rapidez.

2.6.2 VALORACIÓN RÁPIDA

Una valoración rápida necesita suministrar una información oportuna, relevante y adecuada para permitir una toma de decisiones efectiva. El escaso plazo de tiempo disponible y la necesidad de proporcionar una respuesta rápida son factores importantes que determinan las técnicas y procedimientos de valoración. El proceso de valoración es normalmente más directo que participativo: hay que consultar diferentes fuentes de información pero no es el momento de desarrollar dinámicas de grupo con personas de las comunidades afectadas.

El Cuadro 2.5 presenta los tres principales componentes de una valoración rápida.

Cuadro 2.5
Las tres D de una valoración rápida

Desk study: estudio de gabinete (informaciones y opiniones de otra gente)
Directa (observación personal y mediciones de terreno)
Discusión (entrevistas semi-estructuradas o pequeñas reuniones con grupos e individuos clave)

Las listas de verificación (*checklists)* son herramientas muy útiles en las emergencias, guían al evaluador en la recopilación de la información más importante para valorar la situación. Un ejemplo es la lista de verificación proporcionada por Esfera (Anexo 3) para la evaluación del suministro de agua y el saneamiento.

También en contextos de emergencias, el *Global WASH Cluster* trabaja en el desarrollo de herramientas para la gestión de la información. En la fase de evaluación se pueden encontrar:

– *Initial Rapid Assessment Tool (IRA)* – Herramienta para la valoración inicial rápida: tiene un enfoque multi-sectorial y permite una valoración generalista durante los primeros días de la emergencia.

– *Rapid Assessment Tool (RAT)* – Herramienta de valoración rápida: tiene un formato simple y es utilizado para la valoración de la situación por parte de los especialistas en agua, saneamiento e higiene, durante los primeros días de la emergencia.

– *Comprehensive Assessment Tool (CAT)* – Herramienta de valoración exhaustiva: representa un estudio más global e integral de la situación, en el que los especialistas pasan al análisis de los subsectores del sector agua, saneamiento e higiene.

2.7 Evaluación de salud pública

Una evaluación de salud pública es una estimación rápida centrada en la evaluación de factores ambientales y prácticas humanas que pueden representar un peligro para la salud. La mayoría de los sistemas usan listas de verificación en las que los parámetros se valoran 0 ó 1 y producen una nota de "riesgo total" con la suma de puntos de riesgo específicos, que sirve para comparar varias situaciones diferentes.

Las inspecciones sanitarias son útiles para la identificación de posibles fuentes de contaminación de los recursos hídricos existentes, y así determinar las acciones correctoras pertinentes y asignar prioridades. También proporcionan una importante línea de base para monitorizar la situación y el impacto de los proyectos.

Las evaluaciones de salud pública y las inspecciones que se centran en la calidad del agua se explican con mayor detalle en el Capítulo V. En el Anexo 7 se da un ejemplo de plantilla para inspección sanitaria y análisis de riesgos.

3 DISEÑO DEL PROYECTO

La fase de identificación debe proporcionar una imagen clara sobre las necesidades, las capacidades existentes y características específicas para entender la situación y determinar prioridades. Con esta imagen, se puede tomar una decisión sobre si procede o no seguir adelante con la preparación de un proyecto.

La fase de diseño del proyecto va más allá en la definición del proyecto, estudiando diferentes soluciones posibles y cómo pueden ser desarrolladas. Cualquier acción propuesta se debe analizar en términos de relevancia, viabilidad y durabilidad.

En ambas fases, la participación de los beneficiarios y otras partes interesadas es fundamental para garantizar el éxito del proyecto.

El diseño del proyecto se puede emprender de varios modos. Sin embargo, el método que se usa con más frecuencia es el Enfoque del Marco Lógico (*Logical Framework Approach, LFA*), que es una herramienta de planificación para desarrollar proyectos y útil para la gestión. Se puede dividir en dos fases:

– Fase de análisis: en la que se analiza la situación existente con el objeto de desarrollar una "situación futura deseable".

– Fase de planificación: en la que se desarrollan los detalles operativos del proyecto.

3.1 Fase de análisis

Sin analizar la situación existente no se puede conseguir un proyecto adecuado que cubra las necesidades reales de los beneficiarios. Cualquier situación puede ser percibida de modos distintos por parte de diferentes grupos o actores involucrados, y todos ellos deben participar en la fase analítica.

En el ciclo del proyecto, la fase de análisis se puede incluir dentro de la fase de identificación. Aunque las herramientas participativas que se utilizan puedan ser las mismas, la fase de análisis está más orientada al desarrollo de un proyecto, mientras que la identificación es un concepto más amplio que no está necesariamente relacionado con el diseño de un proyecto. La fase analítica consta de tres etapas:

– Análisis del problema.
– Análisis de los objetivos.
– Análisis de la estrategia.

3.1.1 ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Para diseñar correctamente un proyecto, es necesario identificar y analizar los impactos negativos de una situación dada, estableciendo las relaciones causa-efecto. Es esencial involucrar a todas las partes interesadas en el proyecto en un proceso participativo.

El análisis del problema se puede hacer en tres etapas. A menudo, esto se superpone con la fase de identificación; sin embargo, los problemas se deben revisar en relación con el diseño de un proyecto, más que como un mero entendimiento del contexto. Las tres etapas son:

– Identificación de las partes interesadas.

– Identificación y priorización de los principales problemas a los que se enfrenta la comunidad y otras partes interesadas.

– Desarrollo de un árbol de problemas para establecer causas y efectos.

Los análisis realizados con los diferentes actores involucrados deben combinarse con otros, tales como los estudios técnicos, económicos y sociales.

Desarrollo de un árbol de problemas

Las discusiones preliminares con los actores involucrados dan una idea de los problemas a los que se enfrenta la gente. Tras recoger esta información, se puede organizar un taller para examinar las causas principales de los problemas y se puede construir un "árbol de problemas" que permita mejorar la comprensión de los problemas en cuestión. Los talleres deben ser dirigidos por facilitadores entrenados en técnicas participativas y diseño de proyectos. Los pasos para dirigir un grupo de discusión incluyen:

– Enumeración de los problemas: la identificación de los problemas puede hacerse con las comunidades y otras partes interesadas mediante sesiones de "lluvia de ideas". Cada problema puede escribirse en papel y pegarse en un panel.

– Agrupación: los problemas pueden agruparse por temas. Los que se repiten o carecen de importancia pueden eliminarse con el consenso del grupo.

– Priorización: la siguiente etapa consiste en enumerar los problemas según su importancia, escogiendo los más relevantes o representativos de cada grupo.

– Exploración de los orígenes: comenzar a explorar las relaciones causa-efecto para preparar el árbol. Las causas han de ser lógicas, directas y jerárquicas, creando varios niveles y "ramas". A la cabeza o en el centro de cada árbol debe haber un solo problema principal. En los ejemplos de este capítulo el problema principal se muestra en la parte superior del árbol. Durante la elaboración del árbol, se pueden modificar los problemas y otros nuevos pueden ser identificados y añadidos. Una vez completado, el árbol de problemas da una imagen completa de la situación existente y permite dar a entender a los diseñadores del proyecto hacia dónde se deben dirigir las intervenciones**.** La Figura 2.4 da un ejemplo sencillo de un árbol de problemas.

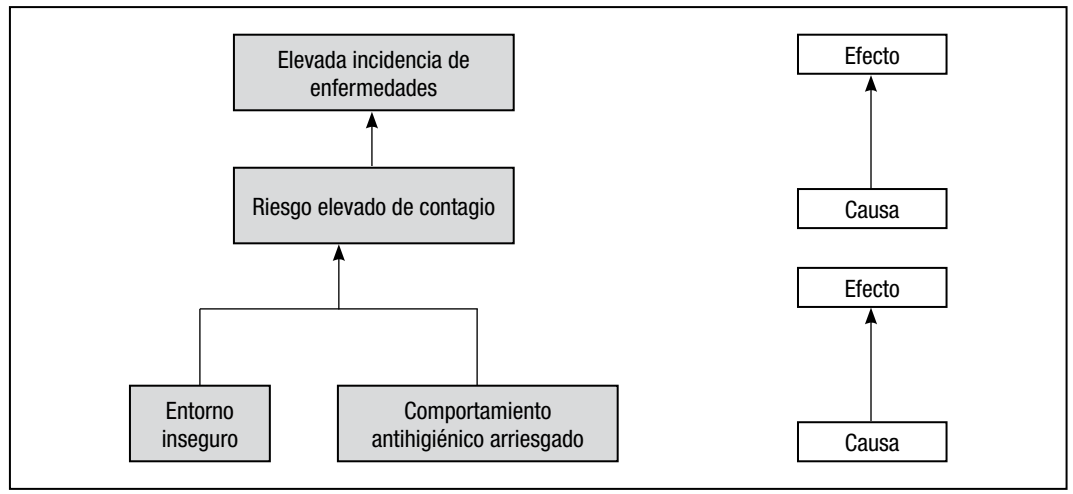


Figura 2.4: Ejemplo sencillo de un árbol de problemas.

Los problemas deben estar bien especificados y la exposición debe ser lo suficientemente detallada para entender las causas del problema. La Figura 2.5 ilustra la elaboración de un árbol de problemas.

Durante el desarrollo del árbol de problemas, los problemas pueden reformularse, combinarse para expresar algún concepto, o descartarse de mutuo acuerdo entre los grupos, explicando el porqué. La Figura 2.5 B presenta el desarrollo del árbol de problemas a partir de los problemas identificados anteriormente.

Nota: los problemas deben plantearse no como ausencia de una solución (p.ej. no hay tratamiento de agua) sino como que existe una situación negativa (p.ej. el agua está contaminada).

3.1.2 ANÁLISIS DE OBJETIVOS

El árbol de objetivos presenta una imagen de la situación futura deseable y normalmente transforma los problemas en objetivos, como se indica en la Figura 2.6.

Los objetivos deben ser enunciados positivos de la situación deseada, más que las acciones requeridas para resolver el problema. Un ejemplo indicando la forma correcta e incorrecta de transformar problemas en objetivos se indica en la Tabla 2.V.

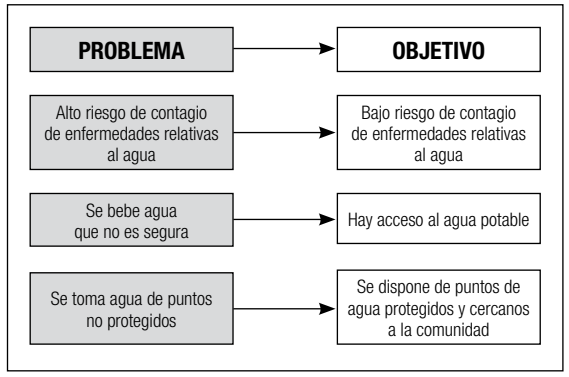


Figura 2.6: Transformando problemas en objetivos.

Tabla 2.V:
Transformación de problemas en objetivos.

Problema	El sistema de suministro de agua se halla en malas condiciones
Objetivo	*Incorrecto:* Reparación del sistema de suministro de agua
	Correcto: El sistema de suministro de agua está en buenas condiciones

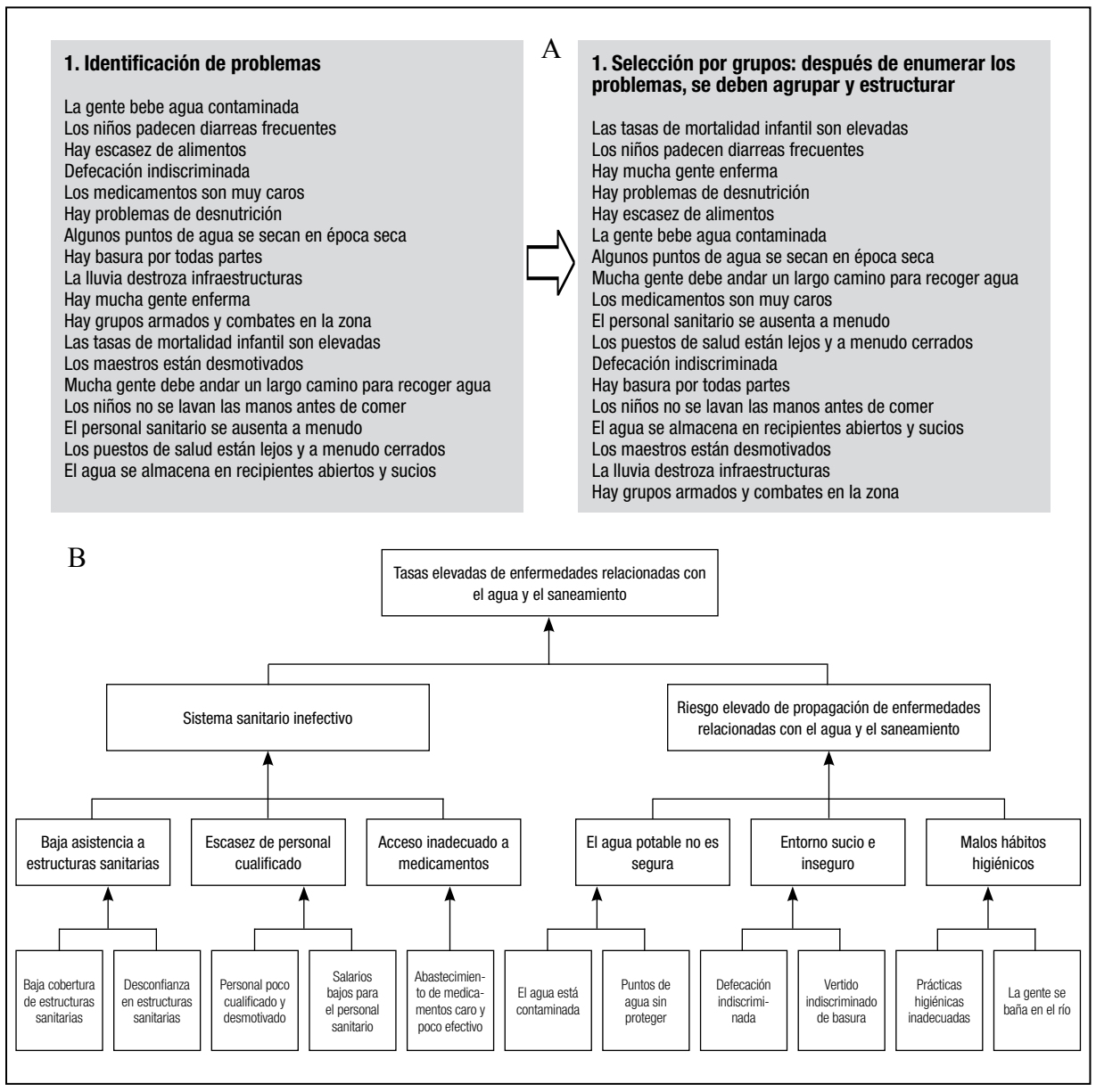
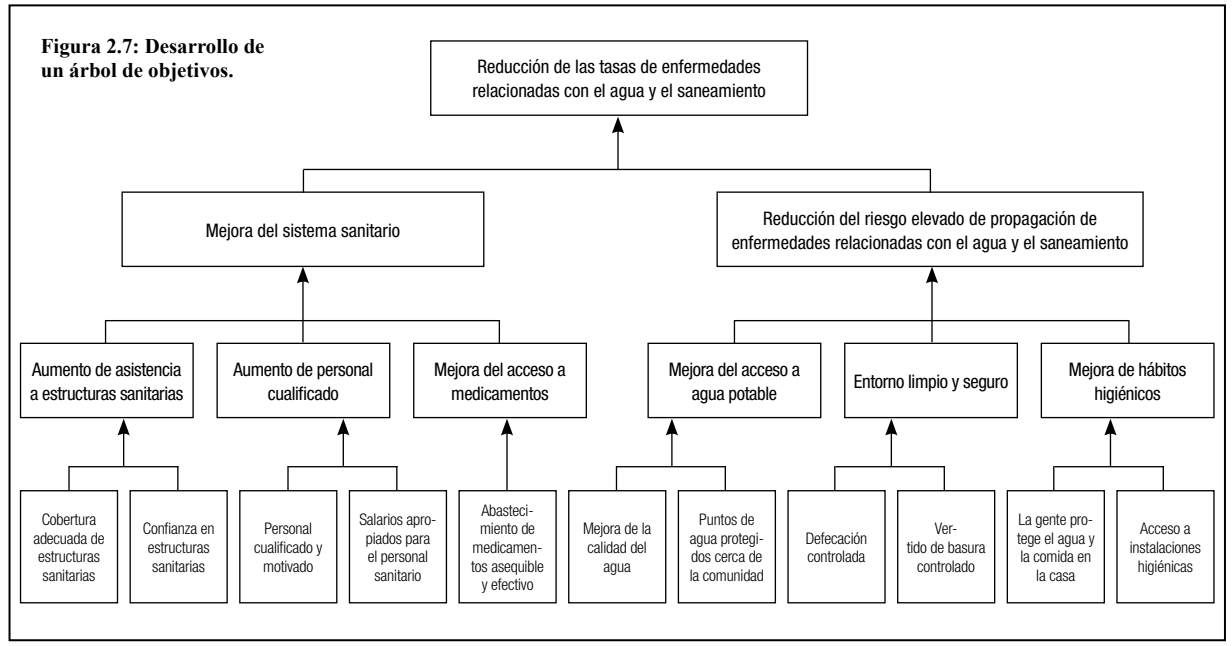


Figura 2.5: Ejemplo de elaboración de un árbol de problemas.
A: Relación de problemas y selección por grupos.
B: Árbol de problemas.

El árbol de objetivos puede considerarse como la imagen "espejo" positiva del árbol de problemas, y las relaciones "causa-efecto" se convierten en relaciones "medios-fines". El árbol de objetivos se puede modificar y las relaciones entre los objetivos se deben revisar y reorganizar según sea necesario (manteniendo la lógica y la jerarquía). Algunos objetivos pueden ser poco realistas, de modo que se han de encontrar alternativas para abordar el problema, o de lo contrario hay que abandonar el intento.

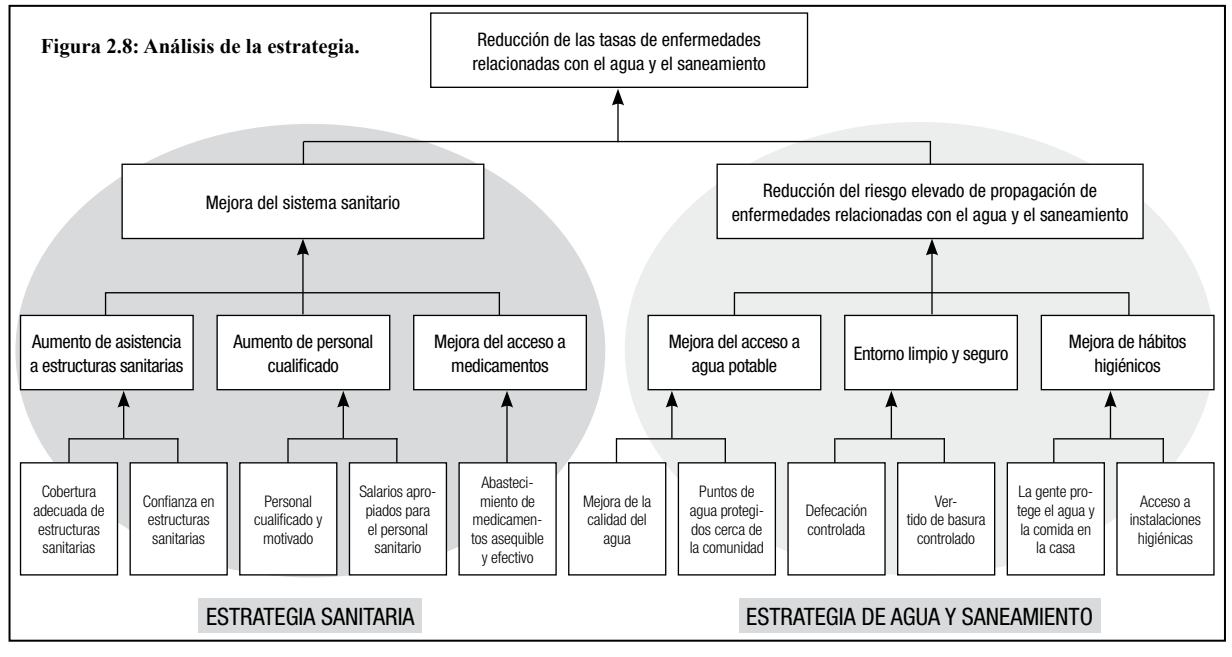
La Figura 2.7 muestra el desarrollo del árbol de objetivos a partir del árbol de problemas desarrollado en la Figura 2.5.



3.1.3 ANÁLISIS DE LA ESTRATEGIA

La última etapa de la fase de análisis implica la identificación de las diferentes estrategias posibles. Esto se lleva a cabo agrupando los objetivos relacionados más estrechamente entre sí y con un fin similar (como cada rama del árbol).

Una estrategia se puede desarrollar una vez se han escogido uno o más objetivos centrales. Este análisis incluye la viabilidad para alcanzar los objetivos (cantidad de trabajo requerida, capacidad de llevarlo a cabo, período de tiempo requerido, presupuesto disponible, interés y participación de la comunidad involucrada, etc.) y la relevancia y durabilidad de la estrategia. Teniendo en cuenta los criterios adoptados en cada situación, se seleccionarán unos objetivos y otros se descartarán.



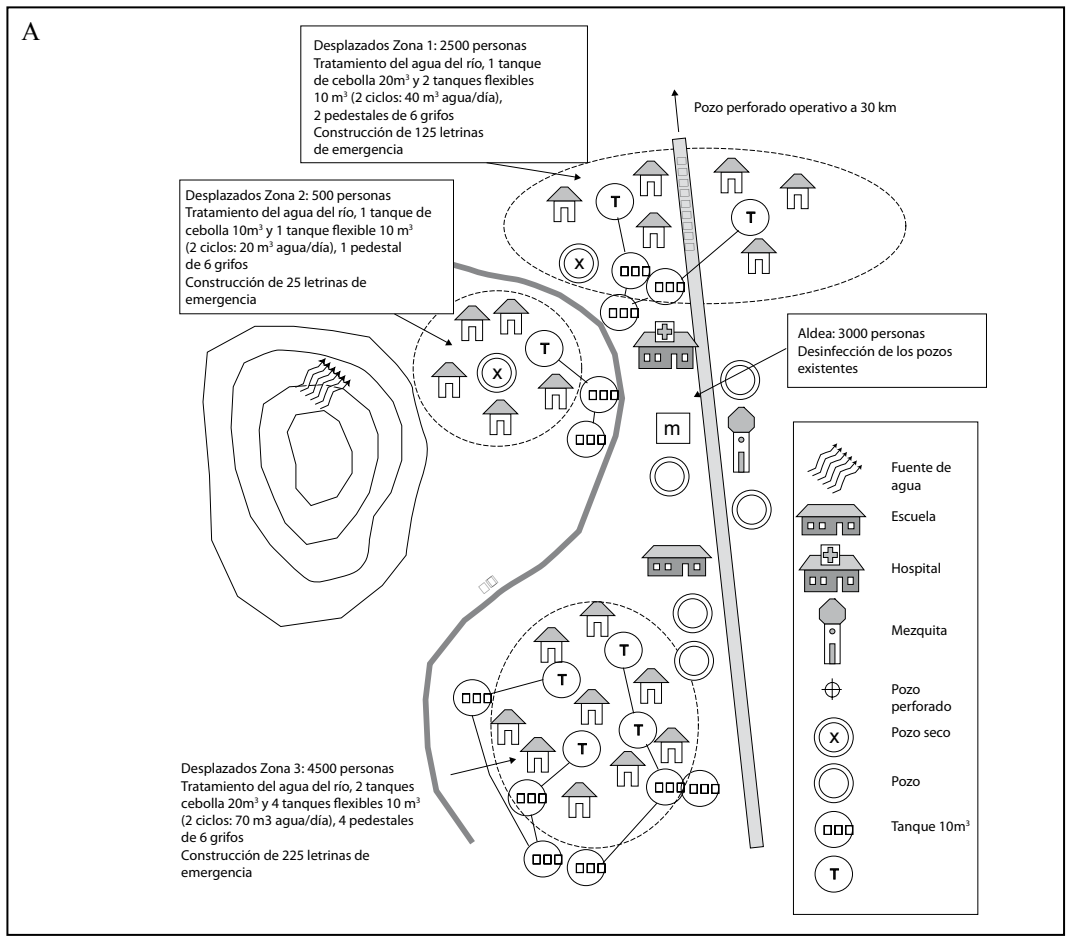


Figura 2.9: Mapa de cobertura de agua y saneamiento. A: fase 1, respuesta al desplazamiento de la población.

La Figura 2.8 presenta el análisis de la estrategia basada en los objetivos desarrollados en la Figura 2.7.

Las estrategias se desarrollan en detalle para crear las bases para la preparación del proyecto. Se debe profundizar en el desarrollo de la intervención y los análisis técnicos adicionales deben complementar la estrategia básica para el diseño del proyecto. Es importante también establecer prioridades y fases para la ejecución de la intervención.

Los mapas de cobertura son una herramienta útil para planificar la intervención y la fase siguiente de planificación (ver Figuras 2.9 A y B).

Ejemplo de estrategia basada en varias fases

Fase 1: respuesta inicial para conseguir el suministro de 15 litros de agua por persona y día y 20 personas por letrina.

Fase 2: puntos de agua permanentes y letrinas familiares.

3.2 Fase de planificación

La fase de planificación es el momento en el que se desarrollan los detalles operativos necesarios del proyecto.

Cuando se utilice el enfoque del marco lógico (LFA), la *matriz de marco lógico* es el principal producto de esta fase. La matriz es un formato que presenta los resultados del LFA como un proceso, y se desarrolla con la base de las herramientas del LFA usadas anteriormente en la fase de análisis.

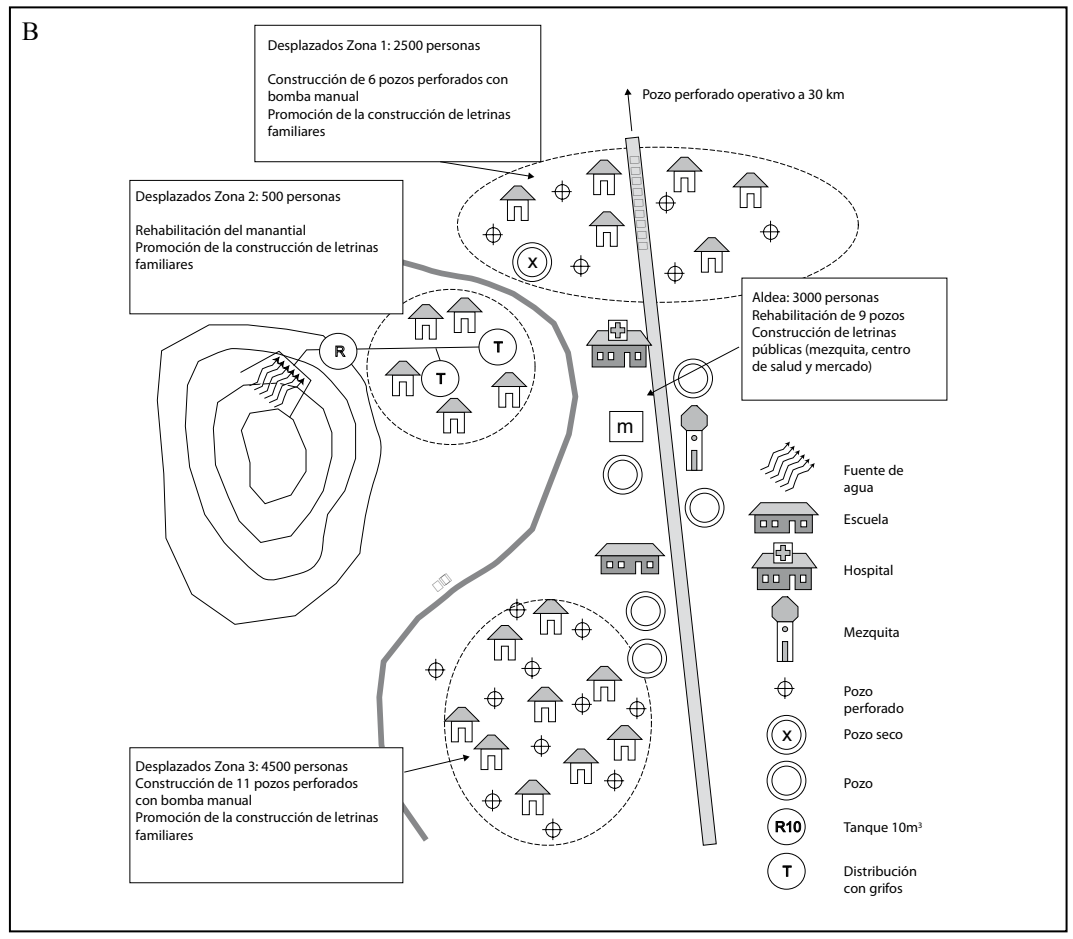


Figura 2.9 B: Mapa de cobertura de agua y saneamiento. B: fase 2, respuesta al desplazamiento de la población.

La matriz puede usarse también como base para un plan de trabajo detallado y para determinar los recursos necesarios.

3.2.1 MATRIZ DEL MARCO LÓGICO

La *matriz del marco lógico* (LFM por *Logical Framework Matrix*) muestra los aspectos clave de una operación.

Proporciona un sumario de la información clave sobre el proyecto y una panorámica sencilla que permite una apreciación rápida de la consistencia y coherencia de la lógica del proyecto, al tiempo que facilita la supervisión y la evaluación.

El método consiste en un proceso analítico y una forma de presentar los resultados de este proceso, que permite exponer sistemática y lógicamente los objetivos del proyecto/programa y las relaciones causales entre ellos, para indicar si se han alcanzado los objetivos y establecer cuáles pueden ser las premisas externas al ámbito del proyecto que pueden influir en el éxito de éste.

La LFM (Figura 2.10) no debe considerarse como un mero conjunto de procedimientos mecánicos, sino como una ayuda para el razonamiento y para enmarcar las ideas del diseñador del proyecto en un plan de acción coherente. El uso de esta herramienta ayudará a crear un proyecto organizado, completo y bien pensado.

El desarrollo de la LFM no es fácil, y requiere tiempo y entrenamiento. Los beneficiarios y otras partes interesadas deben involucrarse en este proceso.

El análisis de un marco lógico es un proceso dinámico e iterativo que debe re-evaluarse y revisarse a medida que se desarrolla el propio proyecto y cambian las circunstancias.

La LFM consta de 16 'cuadros': cuatro columnas y cuatro filas. En la línea de lógica vertical de la matriz, a continuación de la primera columna que representa la estrategia del proyecto, se puede plasmar la intención del proyecto y el modo de conseguirlo (aclarando la relación causal entre los niveles de objetivos), especificando las asunciones y los riesgos (cuarta columna de la matriz). En la línea de lógica horizontal de la matriz se especifican los indicadores que miden el progreso y el impacto así como las fuentes de información o las formas de verificar los indicadores (Introducción al LFA, Adam Walsch, 2000).

	Lógica de intervención	Indicadores verificables objectivamente	Fuentes de verificación	Riesgos e hipótesis
Objetivo general/meta				
Objetivo específico/ propósito del programa				
Resultados/"outputs"				
Actividades		Medios	Costes	
"Inputs"				Condiciones previas

Figura 2.10: Matriz del marco lógico.

3.2.1.1 PARTES DE LA MATRIZ

Lógica de la intervención (lectura vertical)

Corresponde a la primera columna de la matriz e indica qué pretende conseguir el proyecto y cómo, poniendo en claro las relaciones causales entre los diferentes niveles de objetivos o estrategias del proyecto.

Objetivo General

El objetivo general describe la meta a gran escala a la que contribuirá el proyecto junto con otros proyectos o acciones, pero que no puede conseguirse con este proyecto sólo.

Objetivo Específico

El objetivo específico es generalmente la primera pieza de la LFM y es el punto de referencia clave del proyecto. El objetivo específico se define en términos de beneficios o de impacto inmediato en los beneficiarios del proyecto como consecuencia de los servicios del proyecto. El objetivo específico debe establecer con claridad el cambio deseado, dónde tendrá lugar y la magnitud del cambio que se producirá.

El logro de los objetivos específicos dependerá del equipo responsable del proyecto y también de los beneficiarios involucrados para asegurar la durabilidad de los servicios. Se ofrece el siguiente consejo en relación con el propósito del proyecto:

– Se recomienda desarrollar solamente un objetivo específico por cada matriz de marco lógico. Puede que se requiera más de una matriz en un proyecto complejo.

– Se deben establecer los objetivos de modo que se puedan alcanzar con las limitaciones de tiempo y recursos del proyecto. Los datos de entrada de la matriz deben describir el resultado esperado y no el proceso o las actividades necesarias para alcanzar los resultados. Palabras como "garantizado" o "asegurado" pueden ser difíciles de conseguir en algunos programas y se deben usar con cuidado.

Resultados

Los resultados describen los servicios que recibirán los beneficiarios. Son las acciones concretas que se consiguen con los objetivos específicos y son la consecuencia de las actividades emprendidas.

Nota: es importante distinguir entre resultados, actividades e indicadores. El enunciado de los resultados debe describir el cambio en los servicios suministrados, y serán el efecto producido por las actividades propuestas: por ejemplo, "se han construido 100 letrinas" no es un resultado, es una actividad y el resultado de esta actividad sería "mejor acceso a servicios sanitarios". Los indicadores de los resultados deben escogerse para medir estos resultados. En este ejemplo, el indicador sería "1 500 personas tienen acceso a letrinas y las usan".

Actividades

Las actividades representan la forma de llevar a cabo el proyecto, lo que hay que hacer para conseguir los resultados. Algunas recomendaciones para presentar las actividades son:

– Las actividades deben presentarse junto con el resultado correspondiente.

– Las actividades se han de expresar de forma tangible y se han de poder conseguir dentro del tiempo asignado al proyecto.

– Si bien las actividades deben ser concretas, la flexibilidad es también importante. Por ejemplo "construir 10 puntos de agua" permite escoger el tipo de punto de agua durante la ejecución del proyecto, mientras que "construir 10 pozos perforados" define específicamente el tipo de punto de agua y puede que no sea indicado. Es más fácil justificar cambios de actividades en la fase de implementación que cambios de resultados o de objetivos específicos; sin embargo, es necesario comprender el efecto de los cambios en el proyecto en términos de tiempo, presupuesto, recursos humanos, etc.

Lectura horizontal

Dentro de la lógica horizontal de la LFM se especifican los indicadores para medir el progreso junto con las fuentes de verificación, así como la forma en la que se identifican y se miden los indicadores. En la última columna, se presentan los riesgos y las asunciones que afectan al proyecto.

Indicadores verificables objetivamente

Los indicadores verificables objetivamente (indicadores) son parámetros usados para medir, establecer y verificar cómo se consiguen los objetivos específicos, los resultados y las actividades. Son importantes para el seguimiento del proyecto. Los indicadores pueden ser cualitativos o cuantitativos.

Nota: Es importante distinguir entre los indicadores tratados anteriormente que sirven para definir una situación y los indicadores que miden las acciones emprendidas. Los indicadores de situación son parámetros usados para definir una cualidad específica o estado y se usan principalmente en la fase de identificación (p.ej. parámetros de calidad del agua). Sin embargo, los indicadores de objetivos y resultados expresan precisamente los cambios producidos por las intervenciones (p.ej. "el agua suministrada tendrá entre 0,4 y 0,6 mg/l de cloro libre residual").

Antes de definir un indicador, es necesario verificar que se pueda medir. Por ejemplo, la morbilidad causada por la diarrea puede ser difícil de medir en un proyecto de agua y saneamiento si el sistema sanitario no tiene registros de seguimiento adecuados.

Algunas actividades, resultados y objetivos específicos pueden requerir más de un indicador, si uno solo no proporciona suficiente información para apreciar el progreso.

Los indicadores han de ser "SMART" (Roche, 1999):

– *Specific (Específicos)*: en relación a la calidad, cantidad, grupo meta, lugar y tiempo/período.

– *Mensurables* (directa o indirectamente) y concretos (no ambiguos): deben estar definidos con precisión por medio de los datos del objetivo y tanto su medida como su interpretación no deber tener ambigüedad alguna.

– *Alcanzables* y sensibles: se deben poder conseguir con el proyecto y han de ser sensibles a los cambios que el proyecto aspira a conseguir.

– *Relevant and easy to collect (pertinentes y fáciles de obtener):* los indicadores escogidos han de ser pertinentes al proyecto en cuestión y debe ser posible recoger información al respecto con un coste razonable.

– *Time-bound (con fechas límite)*: Los indicadores deben describir para cuándo se espera un cambio determinado.

Los indicadores pueden ser directos o indirectos. Los indicadores directos están relacionados con un cambio detectable directamente, mientras que los indirectos son consecuencias indirectas de este cambio. Para el resultado "mejorado el acceso al agua", un indicador directo puede ser "100 familias tienen acceso a un punto de agua mejorado", y uno indirecto podría ser "hay más niños yendo a la escuela" (porque pasan menos de 15 minutos recogiendo agua, lo que les permite tener tiempo de ir a la escuela).

Los objetivos específicos y los resultados pueden centrarse en la creación de capacidades o en el cambio de comportamiento. En estos casos, los indicadores son principalmente cualitativos. Sin embargo, han de ser rigurosos de todos modos. En el caso del resultado "capacitación del departamento de agua", "número de personas asistiendo a sesiones de formación" no basta como indicador único porque no demuestra que ha habido un cambio. "10 técnicos han mejorado su conocimiento en el mantenimiento de un punto de agua" sirve para complementar el primer indicador. Aunque "mejorar el conocimiento" es cualitativo, es también una medida de progreso.

Medios de verificación

Los medios de verificación (también llamados fuentes de verificación) indican dónde, cómo y en qué forma se puede hallar la información requerida sobre el cumplimiento de los objetivos específicos y los resultados.

Los medios de verificación deben ser fiables y accesibles, y deben proporcionar la información requerida para verificar los indicadores elegidos. Incluye los informes y evaluaciones oficiales o privados, estudios e informes internos, y estudios e informes técnicos. Se recomienda la verificación cruzada de la información de diversas fuentes en el caso de ciertos indicadores.

Los medios de verificación deben indicar la fuente (registros del proyecto, estadísticas oficiales, etc.) que proporciona la información y con qué regularidad la debe proporcionar. El trabajo y el coste de obtención y análisis de esta información deben estimarse y hacer la provisión adecuada para ello en el proyecto.

Ejemplos: las encuestas CAP pueden ser la fuente de verificación para indicadores de los cambios en el comportamiento higiénico, el análisis de la calidad del agua se puede usar para verificar la mejora en su calidad, etc.

Medios y costes

Los medios son los recursos humanos, materiales y servicios (inputs) necesarios para llevar a cabo las actividades. Los costes son los recursos financieros necesarios para la ejecución de estas actividades.

Las actividades deben detallarse junto con los medios y los costes requeridos (en lugar de indicadores y fuentes de verificación).

Algunos marcos lógicos tienen los medios y los costes separados de las actividades en otra línea llamada "inputs".

Riesgos y asunciones

Los riesgos son sucesos clave, acciones o decisiones determinantes del éxito del proyecto o que lo pueden retrasar, o incluso hacer fracasar. No deberían ocurrir pero puede que ocurran.

Las asunciones son factores externos ajenos al control inmediato del proyecto, pero cruciales para completar las actividades, resultados y objetivos. El objeto de la especificación de las asunciones (y los puntos de partida) es el de identificar y evaluar los riesgos potenciales para el proyecto desde las etapas iniciales de diseño del proyecto, apoyando el seguimiento de los riesgos a lo largo de la ejecución del proyecto y proporcionar una base para los ajustes necesarios. Es importante identificar las asunciones en cada nivel del análisis del marco lógico.

Algunas asunciones pueden identificarse durante la fase de análisis como si fueran objetivos incluidos en el árbol de objetivos. Estos objetivos no se alcanzan por el proyecto, pero pueden ser importantes para conseguir el propósito del proyecto. Por ejemplo, un proyecto de nutrición puede tener el propósito de "una mejora en el estado nutricional de la población", en un contexto en el que sólo sería posible conseguirlo si un proyecto complementario de agua alcanza sus objetivos específicos. Una de las asunciones de este proyecto de nutrición sería que se consiga esta condición.

Otros ejemplos son: "se garantiza el acceso al agua, suponiendo que no haya sabotajes en la línea de conducción de agua al sistema de distribución", o "se mejorarán las capacidades de una región, suponiendo que las autoridades sigan participando en las sesiones de formación", o "se puede construir un determinado sistema en un área concreta, suponiendo que se garantice el acceso".

Hay varios niveles de asunciones, dependiendo de su importancia en el proyecto. Si una asunción para el éxito es muy poco probable, se debe rediseñar el proyecto. Si está prácticamente asegurado que se va a cumplir, entonces no es necesario incluirla en el marco lógico.

Puntos de partida:

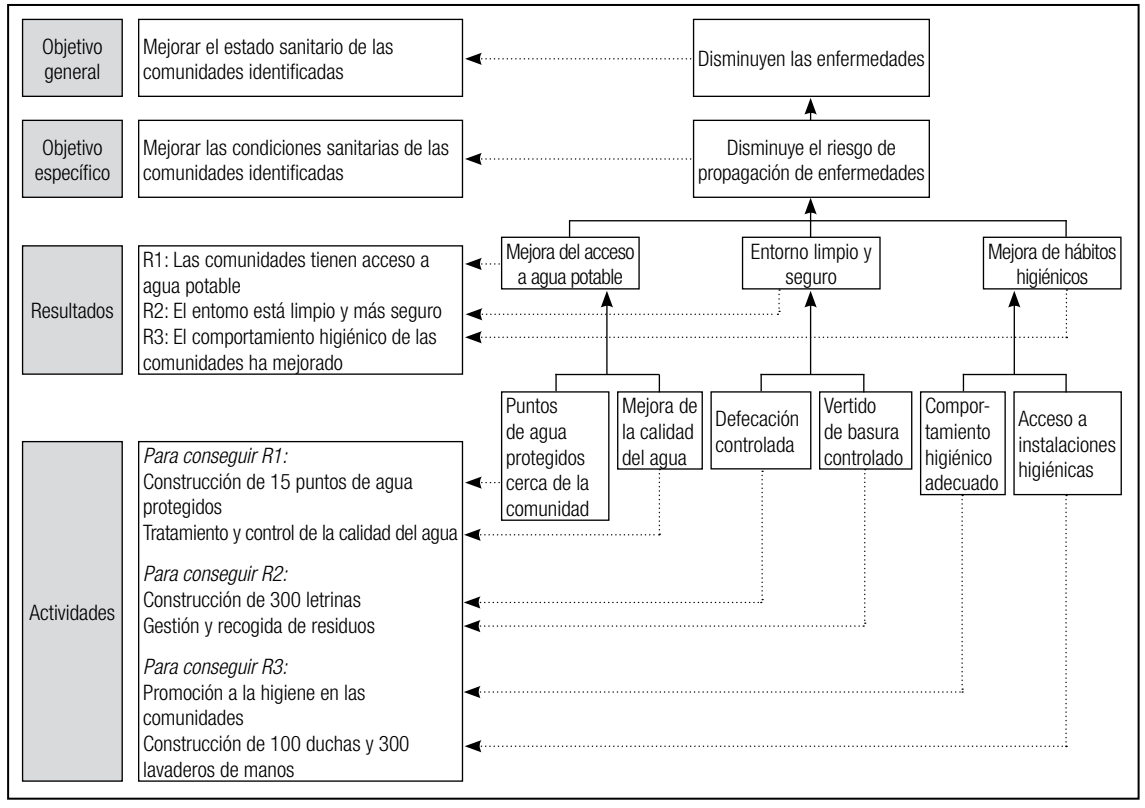
Un *punto de partida* es una condición que debe estar satisfecha antes del comienzo del proyecto.

Ejemplos: "el final del conflicto permite acceder a la zona", "las comunidades están de acuerdo en participar en la ejecución de las actividades" o "las autoridades locales respetan los acuerdos firmados y están de acuerdo en colaborar".

3.2.1.2 CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ DE MARCO LÓGICO

La estrategia elegida para el proyecto se transpone a la primera columna de la matriz (lógica de intervención): volver a consultar el árbol de objetivos es útil en este momento (ver Figura 2.11). El primer paso es definir el *objetivo específico* del proyecto y luego se escriben el resto de los niveles. La estrategia del proyecto incorporada en la *lógica de intervención* tiene que revisarse para ver si las relaciones *medios-fines* a todos los niveles son consistentes y qué falta para completar esta lógica.

Figura 2.11: Construcción de la matriz de marco lógico a partir del árbol de problemas.



	LÓGICA DE INTERVENCIÓN	INDICADORES VERIFICABLES OBJETIVAMENTE	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS DE PARTIDA
OBJETIVOS GENERALES	Reducción de la incidencia de enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento	Las tasas de morbilidad y mortalidad se reducen a niveles normales	Estudios de salud Registros de los centros de salud	
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	Mejora de las condiciones sanitarias	Cobertura total en agua y saneamiento de las comunidades objetivo Reducción de las vías de transmisión de enfermedades (agua, excreta y residuos) en 3 comunidades	Informes internos Evaluación externa Evaluación sanitaria	El programa médico desarrollado por "X" es efectivo No hay ningún brote epidémico La vulnerabilidad de las comunidades no aumentará debido a la escasez de comida o otras crisis
RESULTADOS	R1: Las comunidades tienen acceso a agua potable	Se suministran 15 litros/persona/día de agua potable Se suministra agua con 0 coliformes fecales/100 ml y 0,4 mg/l de cloro residual libre	Informes del proyecto Informes de calidad del agua Estudio sanitario	La llegada de nueva gente no generará un brote epidémico
	R2: El entorno es más seguro y limpio	1 letrina disponible por familia Cada familia dispone y utiliza de un foso para deshechos Existe un cubo de basura comunitario cada 10 familias	Estudio sanitario Informes de evaluación	Los agricultores aguas arriba respetan acuerdos y no usan pesticidas ni contaminan el agua
	R3: Mejora el comportamiento higiénico de las comunidades	Se forma a todos los maestros e incluyen la promoción de la higiene en sus programas Aumenta la concienciación de las comunidades respecto a la higiene La gente utiliza las duchas y los lavaderos de manos	Encuestas CAP Informes del programa	No hay nuevos vectores externos que causen nuevas enfermedades
		MEDIOS	COSTES	SUPUESTOS DE PARTIDA
ACTIVIDADES	Para alcanzar R1:			
	1) Construcción de 15 puntos de agua	Equipos de construcción Materiales de construcción Transporte	30 000 € 45 000 €	No hay sabotaje de las instalaciones Los desastres naturales no destruyen las instalaciones
		Sistemas de tratamiento Consumibles para el tratamiento	5 000 €	Las comunidades tienen acceso a las instalaciones
	2) Tratamiento y control de la calidad del agua	Kit de análisis de agua y consumibles	10 000 € 2 000 € 5 000 €	Las comunidades siguen motivadas y concienciadas con la promoción realizada La administración respeta los acuerdos respecto al mantenimiento de los puntos de agua existentes y la construcción de nuevos puntos de agua y letrinas
	Para alcanzar R2:			Las comunidades mantienen las instalaciones de agua y saneamiento correctamente Los puntos de agua no se secan
	3) Construcción de 300 letrinas	Materiales de construcción	30 000 €	
	4) Gestión y recogida de basuras	30 bidones Herramientas 5 carros tirados por burros para la recogida de basuras	 2 000 € 3 000 € 3 000 €	
	Para alcanzar R3:			
	5) Promoción de la higiene en las comunidades objetivo	Materiales docentes	10 000 €	
	6) Construcción de 100 duchas y 300 lavaderos de manos	Materiales de construcción Tanques de 200 litros y grifos	15 000 € 6 000 €	
COMENTARIOS	Los medios y los costes incluyen: personal, transporte, alojamiento, comunicación, evaluación de necesidades y evaluación final (esta lista no es exhaustiva), pero excluyen los costes indirectos, como los costes administrativos, que no deben aparecer en la matriz del marco lógico. En el presupuesto debe aparecer un desglose detallado de los costes, y no en la matriz. El coste total de las actividades debe estar en el presupuesto			Condiciones previas Participación voluntaria de los beneficiarios en el proyecto Acceso a equipos y materiales Seguridad en la zona para permitir la implementación del proyecto

Figura 2.12: Ejemplo de una matriz de marco lógico completa.

El paso siguiente consiste en el desarrollo de los indicadores clave, medios de verificación (excepto para las actividades, en las que se deben sustituir por los recursos y el presupuesto) y las asunciones en todos los niveles, así como los puntos de partida para empezar el proyecto. Un ejemplo completo de una matriz de marco lógico se da en la Figura 2.12.

3.2.1.3 VERIFICACIÓN DE LA LÓGICA DE INTERVENCIÓN

Una vez desarrollada la matriz, es importante verificar la lógica de las LFM de abajo hacia arriba (para comprobar que es coherente) como se indica en la Figura 2.13.

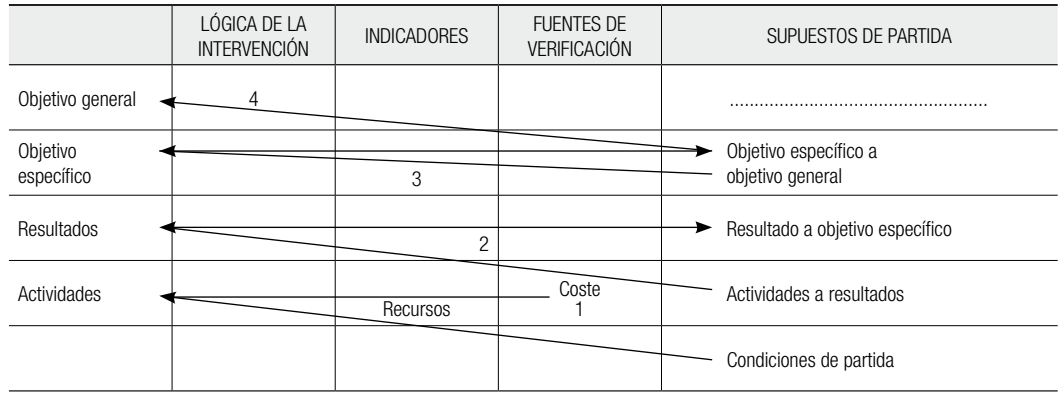


Figura 2.13: Verificación de la lógica de intervención.

3.2.2 PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES (PLAN DE TRABAJO) Y RECURSOS.

La programación de actividades (plan de trabajo) determina la secuencia de las actividades, estima la duración, marca los hitos y asigna responsabilidades.

Elaborar planes de trabajo consiste principalmente en:

- Enumerar las actividades previstas durante el proyecto.
- Dividir las actividades en tareas manejables.
- Establecer la secuencia de ejecución.
- Estimar la duración con las fechas de comienzo y terminación de cada actividad.
- Definir las herramientas y procedimientos de seguimiento.
- Asignar tareas a los equipos.

El plan de trabajo es fundamental para el seguimiento del proyecto. Es importante incluir las tareas de seguimiento, ya que serán esenciales también para la evaluación al final del proyecto. Un ejemplo de plan de trabajo se indica en la Figura 2.14.

La programación de los recursos se desarrolla a partir del plan de trabajo, y detalla los recursos financieros, humanos y físicos necesarios para la ejecución del proyecto. También es importante incluir los costes indirectos (como los costes administrativos requeridos por la agencia para mantener su estructura y operatividad).

La evaluación por parte de los donantes de los costes del proyecto, tendrá una influencia significativa sobre la valoración y aprobación del proyecto. La Figura 2.15 muestra un ejemplo de programación de recursos.

3.3 Redacción de la propuesta

Una vez definido el proyecto y determinado que se requiere financiación exterior de un donante, es necesario redactar una propuesta. Cada organización donante tiene sus propias recomendaciones y formatos para las propuestas. No obstante, las propuestas son esencialmente parecidas, cualquiera que sea el donante. Un ejemplo de una estructura de propuesta se puede hallar en la guía de ECHO (www.echo.org).

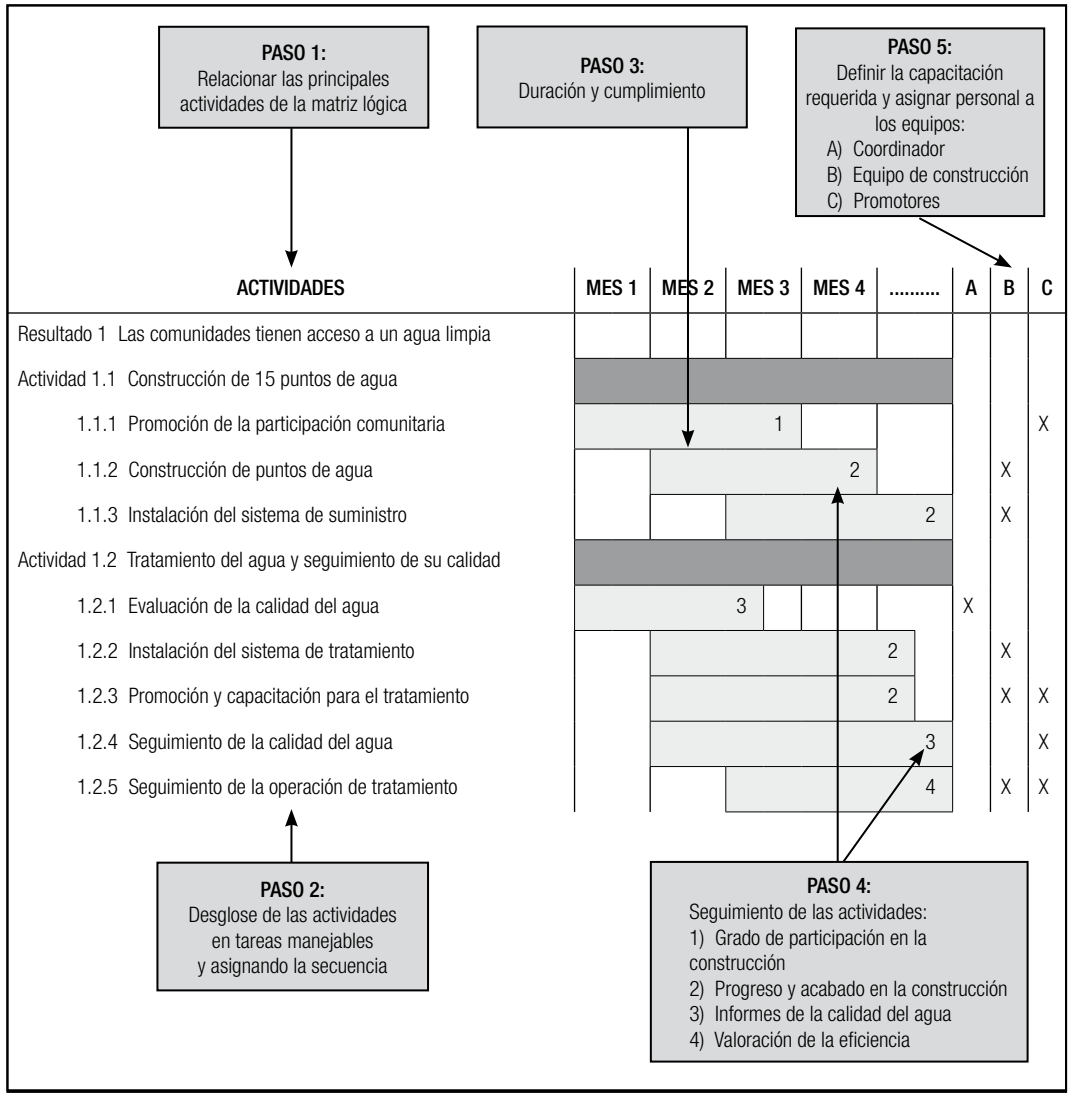


Figura 2.14: Ejemplo de una programación de actividades (plan de trabajo).

Actividades/Recursos	Unidades	Cantidad por período				Coste unitario	Financiación	Referencia	Coste programado				Coste total
		Q1	Q2	Q3	Q4				Q1	Q2	Q3	Q4	
Construcción de 15 puntos de agua													
Equipo													
Trípode	ud	2	...	...	...	400 €	ECHO	B 67-A	800 €				800 €
Moldes anulares	ud	4	...	...	...	300 €	ECHO	B 67-A	1 200 €				
Juego de herramientas	kit	2	...	...	...	300 €	ECHO	B 67-A	600 €				
Bomba manual	ud	3				700 €	DFID	C 42	2 100 €	2 800 €	2 800 €	2 800 €	10 500 €
Materiales													
Cemento	20 kg	130	130	130	130	25 €	ECHO	B 67-B	3 250 €	3 250 €	3 250 €	3 250 €	13 000 €
Ferralla	12 m	240	320	320	320	3 €	ECHO	B 67-B	720 €	960 €	960 €	960 €	3 600 €
Sueldos y gratificaciones													
Albañiles	mes	16	16	16	16	300 €	ECHO	B 27	4 800 €	4 800 €	4 800 €	4 800 €	19 200 €
Instalador de bomba	mes	1	1	1	1	300 €	DFID	D 32	300 €	300 €	300 €	300 €	1 200 €
Peones	mes	20	20	20	20	200 €	ECHO	B 27	4 000 €	4 000 €	4 000 €	4 000 €	16 00 €
Capataz	mes	4	4	4	4	500 €	ECHO	B 27	2 000 €	2 000 €	2 000 €	2 000 €	8 000 €
Transporte													
Alquiler del vehículo, etc.	mes	8	8	8	8	300 €	ECHO	B 85	2400 €	2400 €	2400 €	2400 €	9600 €

Figura 2.15: Ejemplo de una programación de recursos.

3.4 Aprobación y financiación de un proyecto

Hay varias clases de entidades financiando proyectos humanitarios, incluyendo departamentos de ayuda nacionales e internacionales (tales como ECHO (Oficina Humanitaria de la Comisión Europea), DG (Dirección General, Unión Europea), DfID (Departamento para el Desarrollo Internacional, Reino Unido), etc.), gobiernos regionales y municipales, asociaciones, empresas y ONG. Cada una tiene sus propias guías y procedimientos para la aprobación y financiación de proyectos.

La aprobación y financiación de un proyecto requiere una serie de discusiones entre donantes y agencias implementadoras antes de firmar un contrato. La participación del donante en la confección de la propuesta depende básicamente de su estrategia. La negociación del presupuesto es uno de los temas principales.

El tiempo necesario para la aprobación de un proyecto depende principalmente de la disponibilidad de los fondos y de los acuerdos con otras partes interesadas. Los fondos para los casos de emergencia se suelen asignar con rapidez.

Una vez aprobado el proyecto, los fondos se entregan en plazos establecidos o por trabajos realizados. El proyecto empieza con la asignación de los fondos y la firma del contrato. La agencia implementadora se comunica regularmente con el donante por medio de informes de progreso periódicos.

4 EJECUCIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO

La ejecución y seguimiento del proyecto son la etapa central de un proyecto. Se movilizan los recursos y se llevan a cabo las actividades con el objeto de suministrar a los beneficiarios los servicios planificados.

Este capítulo no puede desarrollar todos los aspectos relacionados con la *fase de implementación*; muchos de ellos se desarrollan en otros capítulos de este libro. Esta sección describe algunos temas importantes relacionados con la gestión de las actividades desarrolladas a lo largo del proyecto: planificación de las actividades, gestión del personal, procedimientos internos, sensibilización a la seguridad, participación de la comunidad y gestión de la información recogida.

La ejecución se refiere a las actividades definidas en el marco lógico. Actividades comunes a los programas de agua y saneamiento son: construcción y rehabilitación de infraestructuras, suministros/distribuciones, actividades de formación y promoción de la salud, estudios y evaluaciones. Se requiere también efectuar un seguimiento. Por ejemplo, la agencia que realiza las actividades debe verificar periódicamente y asegurar que la bomba manual que se instaló en su momento se usa correctamente y cubre las necesidades de los beneficiarios. La razón de este seguimiento es: 1) asegurar que la agencia implementadora está llevando a cabo correctamente su trabajo, 2) asegurar que las actividades planificadas son adecuadas, 3) contestar a las preguntas que puedan tener los beneficiarios y que no se plantearon al comienzo de la intervención y 4) asegurar que la formación proporcionada es la adecuada.

Es necesario gestionar activamente varios aspectos de un proyecto. A lo largo de la ejecución, y durante las consultas con los beneficiarios y otras partes interesadas, el equipo de gestión del proyecto evalúa el progreso real comparándolo con el planificado para determinar si el proyecto se desarrolla conforme a los objetivos. Si fuera necesario, se reorienta el proyecto para encauzarlo hacia su objetivo principal.

El seguimiento es una forma de recoger, analizar y usar la información para verificar que el proyecto permanece debidamente encauzado hacia la consecución de sus objetivos. El seguimiento medirá el nivel de cumplimiento de las actividades planeadas, pero es además un concepto más amplio que incluye la evaluación del grado de cumplimiento de los resultados y objetivos a lo largo de las fases de la ejecución.

4.1 Planificación

La planificación es el primer paso en la implementación del proyecto; es una herramienta esencial que asegura que todas las actividades del proyecto sean consideradas y se programen debidamente.

La planificación de la ejecución del proyecto consiste en revisar y desarrollar completamente el plan de trabajo y la programación de recursos que se elaboraron al final de la identificación del proyecto.

Al planificar la ejecución del proyecto hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

– El contexto humanitario (emergencia, refugiados o desplazamientos internos, post-emergencia, etc.): la planificación no será la misma en todos los contextos, y dependerá en gran medida de la gravedad de la situación.

– Duración del programa: el tiempo de ejecución se define inicialmente cuando se hace la propuesta. Las prórrogas y las enmiendas se pueden negociar con el donante si se producen cambios en el contexto desde que se redactó la propuesta hasta que se empezó la ejecución (si la decisión de financiamiento originó un retraso), o durante la ejecución (si se pueden justificar los retrasos en la ejecución).

– Recursos humanos y financieros.

– Situación de la seguridad: si el área del proyecto no es segura para el personal, este factor debe tenerse en cuenta en el plan y en los métodos de trabajo.

– Disponibilidad de los participantes del proyecto: algunos de los integrantes de las comunidades afectadas por el proyecto pueden estar ausentes parte del año (p.ej. campesinos de Guatemala del área de El Altiplano marchan de sus aldeas hacia las plantaciones de café para trabajar de temporeros durante la cosecha). Deben programarse las actividades teniendo en cuenta los períodos en los que no se disponga de mano de obra por parte de la comunidad.

– Estación lluviosa: las lluvias intensas afectan a algunos países durante varios meses del año (por ejemplo los países que sufren los monzones, como Myanmar). El desplazamiento a regiones remotas para efectuar trabajos de campo como la perforación de pozos puede ser imposible durante varios meses.

– Limitaciones técnicas: en este apartado se incluyen variaciones en el caudal de los recursos hídricos, como manantiales y ríos, que pueden ser muy significativas entre la estación lluviosa y la seca. La elección de la fuente de agua, que se hace en base a la demanda y, cuando corresponda, los cálculos del sistema de distribución, deben hacerse en base a las estimaciones de caudal más bajas durante la estación seca. El nivel de la capa freática puede descender en la estación seca, lo que también se debe tener en cuenta al establecer la profundidad de la bomba. Otras limitaciones técnicas son: dificultades para la prospección y acceso a acuíferos, políticas técnicas nacionales o regionales inadecuadas, etc.

– Contexto político: acontecimientos ajenos pueden retrasar la ejecución del programa. Algunos, como las elecciones, se pueden prever, pero otros no.

– La colaboración con entidades similares o complementarias (las ONG locales o internacionales, universidades, autoridades locales, etc.) puede que requiera invertir algo de tiempo inicialmente (contactar personas, presentaciones, formación y organización) pero es esencial para la buena ejecución del proyecto en términos de durabilidad, eficiencia de tiempo y efectividad del programa. Con estos elementos, la planificación debe ser tan participativa como sea posible y debe involucrar a todas las personas y entidades afectadas por el proyecto.

4.2 Gestión del personal

El personal requiere gestión administrativa y operativa. El número de personas y la estructura del equipo varían dependiendo del contexto, la naturaleza y tamaño del proyecto, el grado de participación de los beneficiarios y otros actores involucrados, y la competencia del personal. Las respuestas de emergencia requieren generalmente abundante personal, no obstante, esto también va en función del contexto y el grado de participación del beneficiario.

4.2.1 CONSTITUCIÓN DEL EQUIPO

La constitución del equipo es una de las primeras etapas de la ejecución de un proyecto y es fundamental para su desarrollo.

– Se debe elaborar un organigrama que proporcione una idea clara de la estructura del equipo y de las relaciones entre todos los puestos. Los puestos más habituales son: administradores, directores, técnicos y logistas, entre otros. Cada puesto requiere una aptitud determinada.

– Se debe crear una descripción del puesto de trabajo (*job description*) para cada posición, que incluya:

- Nombre del puesto.
- Descripción breve del proyecto.
- Responsabilidades del puesto. Puede ser conveniente definir tareas y actividades concretas a realizar. No obstante, el jefe del programa ha de entender que si se escriben muchos detalles, será difícil alterar las responsabilidades en los casos en que haya que adaptarse a los cambios en el contexto.
- Lugar y horario de trabajo.
- Personas a gestionar, persona que supervisa este puesto, responsabilidades de coordinación y presentación de informes.
- Otras condiciones laborales: salario, vacaciones, etc.

– Una vez realizada la descripción el puesto se anuncia una demanda de trabajo, inicialmente dentro de la organización y luego en las otras ONG, universidades, instituciones, por la radio y en los periódicos, etc. Se reciben las solicitudes y currículum vítae de los candidatos.

– Se escogen los candidatos y se entrevistan. El objeto de las entrevistas es ver la exactitud de los datos en los currículos, obtener información adicional y presentar la organización, los objetivos y las actividades. El procedimiento usado es esencialmente la conversación abierta y en ocasiones una prueba escrita. Las entrevistas las hacen los supervisores directos y los especialistas adecuados.

– Una vez seleccionado el candidato adecuado, se ha ofrecido el puesto de trabajo y éste ha sido aceptado, se firma un contrato (por una duración determinada) y se firman las regulaciones del puesto.

– Se informa e instruye adecuadamente al nuevo empleado y se presenta a la organización.

– Se deben llevar a cabo revisiones periódicas de las necesidades de personal, así como de su estructura y del organigrama.

4.2.2 EL PAPEL DEL DIRECTOR DE PROYECTO

El director del proyecto es responsable de la dirección general del mismo, y puede tomar parte también en la estrategia de la organización a nivel regional o nacional, participar en organismos de coordinación, realizar nuevas evaluaciones de necesidades, definir nuevos proyectos, etc.

La dirección general requiere: gestión de recursos humanos; colaboración y coordinación con las ONG locales o internacionales, instituciones y autoridades locales; trabajar para el desarrollo de capacidades; seguimiento del presupuesto; pedidos de material y equipos; previsión de presupuestos y suministros; mantenimiento de equipos; recogida y análisis de datos (valoración, seguimiento y evaluaciones); redacción de informes; aprendizaje institucional; investigación; desarrollo; seguridad; estrategia; definición de proyectos; integración con otros departamentos técnicos; cuestiones de género, temas ambientales (y otros aspectos transversales de la intervención); y cualquier otro asunto que pueda surgir.

En el área de recursos humanos, los directores de proyecto se responsabilizan de:

– definir las necesidades de recursos humanos para el proyecto, preparación de descripciones de puestos de trabajo y organigramas, y reclutamiento si se requiere;

– organizar reuniones y cursos de formación para el personal;

– dirección, motivación y comunicación;

– organización y supervisión del equipo;

– evaluación de cada persona del equipo.

En el Anexo 4, se incluye una muestra de la descripción de un puesto de trabajo de director de proyecto de agua y saneamiento.

4.2.3 RELACIONES LABORALES Y CONTRATOS

Hay varias maneras de contratar personal laboral:

– Personal en plantilla: empleados a tiempo completo con contratos normales de empleo según legislación nacional y beneficios como: compensación por enfermedad, seguro, vacaciones, finiquito al término del contrato, etc.

– Trabajadores temporales: empleados pagados diariamente con contratos informales o sin contratos. Se recomienda redactar una carta de entendimiento (*letter of understanding*) para establecer los compromisos, y la organización debe responsabilizarse de la atención sanitaria si hay accidentes.

– Trabajadores temporales "alimentos por trabajo (*food for work*)": puede ser una opción válida en situaciones en las que se requiera ayuda alimenticia, en este caso los trabajadores reciben una compensación en forma de alimentos por realizar trabajos que generalmente serían responsabilidad de la comunidad. Este tipo de pago se hace en situaciones en las que se considera necesaria la ayuda en alimentos y hay mano de obra disponible. Es preciso hacer un buen análisis de seguridad alimentaria antes de poner en marcha estas prácticas para estar seguros de que:

- la producción local de alimentos no se vea afectada por la ayuda alimentaria;
- el programa de alimentos por trabajo se adapta a las necesidades de los beneficiarios;
- no se desalienta el trabajo voluntario.

– Subcontratación: una actividad completa puede ser subcontratada a una empresa, a un grupo de personas o a otra organización. Se debe establecer correctamente la relación contractual y el pago por los servicios suministrados debe depender de la calidad del trabajo realizado. El problema de la subcontratación es que la participación de la comunidad puede ser más difícil porque los contratistas no suelen priorizar los aspectos sociales. También, los contratistas pueden economizar excesivamente en tiempo y dinero, lo que puede dar como resultado una baja calidad del trabajo realizado. Por otra parte, la subcontratación permite tener acceso a buenos profesionales y aliviar el proyecto de muchas tareas logísticas y de gestión.

Un problema habitual en el diseño de un proyecto es que los capítulos presupuestarios de la mano de obra son generalmente inflexibles, mientras que las subcontratas o el empleo temporal pueden imputarse dentro de las partidas de ejecución de actividades. Sin embargo, si los problemas presupuestarios son las razones principales para la subcontratación o para el trabajo temporal, es preferible renegociar el presupuesto para aumentar los capítulos presupuestarios de personal. Esto permite que el personal tenga contratos estables y disfrute de derechos laborables y otras ventajas. También es preferible emplear personal estable ya que implica mayores oportunidades para el desarrollo de las capacidades.

4.2.4 TAREAS ESPECIALES DE LA DIRECCIÓN

Formación:

La formación del personal ayuda al proyecto, a la organización y a los otros integrantes del equipo. Un equipo competente, autónomo, motivado y responsable es esencial para lograr los objetivos del proyecto y conseguir durabilidad.

La formación puede hacerse de dos maneras:

– En continuo: la comunicación en el trabajo diario permite una transferencia constante de conocimientos y aptitudes.

– Formación organizada específica: se hace sobre temas específicos según las necesidades del programa y la capacidad del personal.

Es importante diseñar un plan de formación en el que los objetivos se definen a lo largo de períodos de tiempo concretos. El primer paso es la evaluación de las capacidades y expectativas del personal. El personal debe participar en el establecimiento de la agenda de formación y es importante considerar la promoción profesional de cada empleado.

Los temas de formación pueden ser técnicos (p.ej. perforación de pozos, promoción de la higiene, movilización de la comunidad), administrativos (p.ej. gestión de almacén) u organizativos (p.ej. formulación de estrategias). La formación se puede centrar también en temas humanitarios, como derechos humanos, etc., y puede ser una manera de involucrar al personal en los principios y el mandato de la organización. Otros tipos de formación pueden orientarse al refuerzo de aptitudes concretas como lenguas, ordenadores, matemáticas, leer y escribir, etc.

La formación debe evaluarse para medir el impacto, mejorar formaciones futuras y obtener ideas para otras materias de formación. Si el entrenamiento de un grupo consta de varias sesiones, cada sesión puede aprovecharse para revisar los temas tratados con anterioridad, y así tener la oportunidad de hacer una evaluación.

La formación del personal puede ser interna o externa, en forma de seminarios o como demostración práctica. La formación puede hacerse localmente, nacionalmente o regionalmente, y para un individuo o para un grupo.

Coordinación interna del equipo: reuniones de organización y supervisión

La dirección del equipo requiere respeto, flexibilidad, reglas claras, equidad, transparencia, comunicación (comprensión, escuchar y acceso a la información), liderazgo, disponibilidad, delegación y no discriminar.

Las reuniones frecuentes permiten una buena comunicación entre el equipo y la organización. Es importante que la delegación de responsabilidades se haga con el control y la supervisión apropiados. La solución de conflictos es otro aspecto importante en la gestión del personal.

Evaluación del personal

La evaluación del trabajo de cada empleado es importante para la persona, el proyecto y la organización. Las evaluaciones deben llevarse a cabo como una discusión abierta entre el supervisor y el empleado evaluado. Se debe usar una plantilla de evaluación que contenga tanto criterios generales (p.ej. contactos con la población local y autoridades, respeto a las reglas de la organización, dedicación al proyecto, etc.) como específicos (técnicos, gestión, etc.). Los objetivos de la evaluación deben establecerse al comenzar la relación laboral (comportamiento profesional, capacidad de comprensión o formación técnica, etc.).

Las evaluaciones del personal deben ser constructivas y honestas. Se han de hacer siempre con la persona involucrada, que debe poder expresar libremente sus acuerdos o desacuerdos. Si hay disparidad de criterios, hay que explicarlos. Al finalizar, ambos han de leer lo que se ha escrito en la plantilla y firmarlo. Una copia debe guardarla el empleado y otra debe ir al expediente del empleado.

Es útil también tener evaluaciones de abajo a arriba, donde los jefes son evaluados por el personal a sus órdenes, para mejorar las relaciones con la dirección y evitar posibles problemas.

4.3 Procedimientos internos

La organización debe dirigirse con procedimientos limpios y transparentes para garantizar un funcionamiento justo y fluido. Hay que tener procedimientos administrativos para:

– usar fondos;

– gestionar la tesorería, previsión económica y de suministros, seguimiento del presupuesto y de los pedidos;

– acuerdos con otras organizaciones o instituciones;

– gestión de personal (reclutamiento, contratos, regulaciones laborales, reuniones, horarios de trabajo, evaluaciones, etc.).

Hay que tener procedimientos logísticos para:

- pedidos, cotizaciones, compras;
- gestión de almacén (entradas/salidas, existencias);
- uso y mantenimiento de material y equipos (repuestos, procedimientos de mantenimiento y reparación);
- transporte de material;
- uso y mantenimiento de vehículos (plan semanal);
- comunicaciones por radio, teléfono y correo electrónico (la situación de la seguridad determinará muchos de estos procedimientos).

Procedimientos de seguridad: movimientos del personal, horarios de trabajo, horarios para trabajo de campo, lugares seguros y prohibidos, comunicación, etc. (ver punto 4.4).

4.4 Concienciación sobre la seguridad

La seguridad debe ser una prioridad en los programas humanitarios, que no deben llevarse a cabo (o deben interrumpirse) si no se garantiza la seguridad.

Las intervenciones humanitarias suelen realizarse en lugares con serias consideraciones sobre la seguridad. La seguridad (*security*) se refiere a los riesgos de los conflictos o la violencia interna. El establecimiento de procedimientos de seguridad requiere un buen entendimiento de la situación. La seguridad debe ser una consideración prioritaria para todos los integrantes del equipo y se debe establecer un plan de seguridad con actualizaciones constantes de las reglas y recomendaciones, que han de ser en todo momento claras y comprensibles (ver Figura 2.16). Esto implica que el director del programa lleve a cabo lo siguiente:

– Conseguir y recoger información fiable sobre la situación.

– Mantener contactos estrechos y continuos con las comunidades locales y con los informadores clave.

– Analizar la evolución, tendencias, riesgos y vulnerabilidades relacionados con la seguridad.

– Tener y respetar el plan de seguridad.

– Asegurar que todos los integrantes del equipo cumplen las reglas y respetan los mecanismos de decisión y a las personas encargadas de la seguridad.

– Comunicar y entrenar al personal en los procedimientos y en lo que hay que hacer en caso de emergencia.

– Asegurarse que todo el personal muestra un buen comportamiento con las comunidades y otras partes involucradas.

– Mantener la neutralidad en un conflicto.

– Respetar la estructura social local y los mecanismos establecidos de toma de decisiones.

– Hacer partícipe a las comunidades en la seguridad del equipo y de los activos físicos del proyecto.

– Evaluar constantemente la capacidad de respuesta de la organización ante los problemas de seguridad.

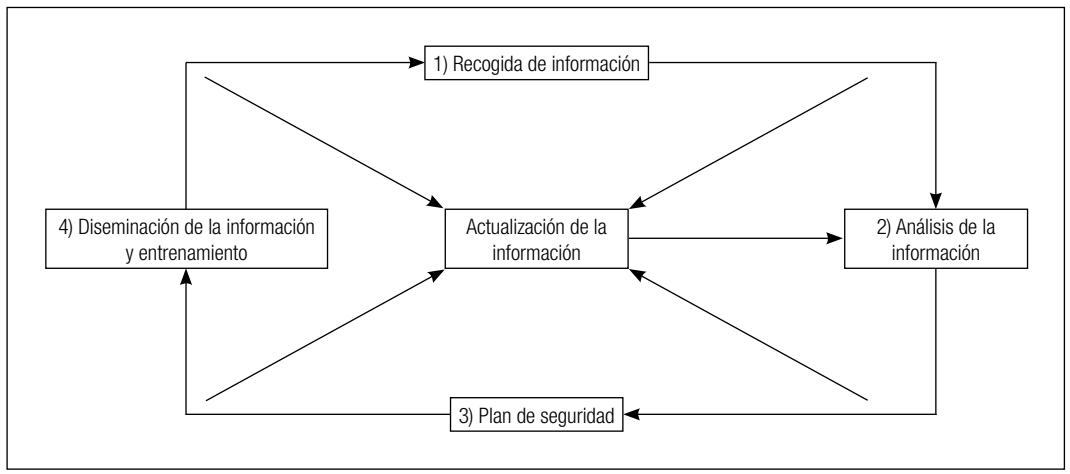


Figura 2.16: Proceso de desarrollo de un plan de seguridad.

Hay que tener en cuenta la seguridad desde las etapas iniciales del ciclo del proyecto como característica fundamental del contexto, para así definir correctamente el proyecto. Durante el diseño también es básico planificar los recursos y el tiempo necesarios para garantizar la seguridad durante el proyecto. La seguridad es la prioridad principal en el terreno. Si no se garantiza, se debe parar el proyecto o no debe ponerse en práctica.

Tabla 2.VI: Medidas de seguridad en algunas actividades de agua y saneamiento.

Actividad	Medidas
Construcción / rehabilitación de pozos: caídas de personas, caídas de herramientas y equipos, derrumbamientos, accidentes con picos y martillos, accidentes con bombas eléctricas de achique (cables eléctricos deteriorados), gases tóxicos de los motores de las bombas o de los explosivos.	Usar equipo de seguridad: arneses, guantes, cascos, botas, gafas de seguridad, y equipos de elevación y descenso (trípodes, poleas, etc.) de buena calidad para bajar los anillos de hormigón. Reforzar muros si hay riesgo de derrumbe. Mantener a la gente fuera del agua cuando se usan bombas eléctricas. Usar preferiblemente equipos de aire comprimido para el achique, en lugar de eléctricos. Hacer el seguimiento de la aireación en el fondo del pozo para asegurarse de que es suficiente para la gente que trabaja allí. No usar motores de combustible dentro del pozo para evitar los gases. Cubrir y proteger el pozo en las pausas y paradas del trabajo.
Perforación de pozos: caída de equipos, accidentes con la maquinaria de perforación, quemaduras con piezas del motor, tubos del compresor sin conexiones de seguridad	Usar procedimientos y equipos de seguridad (cascos, guantes, botas, gafas de seguridad, tapones para los oídos). Limitar el acceso a la zona donde se encuentran los equipos.
Uso de productos químicos: tratamiento y análisis de agua	Usar guantes y gafas de seguridad, especialmente si se usa metanol para desinfectar el equipo de análisis de agua. Usar máscaras adecuadas cuando se manejan productos químicos en polvo o volátiles. Almacenar y transportar los productos químicos con cuidado.
Accidentes con vehículos	Mantenimiento adecuado, seguir las reglas (códigos de circulación, reglamentos internos)

La seguridad (*safety*) se refiere a los riesgos asociados con hechos naturales y con las condiciones de trabajo, así como con los accidentes relacionados con las actividades diarias y los problemas de salud del personal. Los procedimientos de seguridad pretenden reducir la vulnerabilidad a los factores indicados y requieren lo siguiente:

– Que haya prácticas de trabajo seguras que incluyan:

- disponer de un conjunto de regulaciones de seguridad y equipos o materiales de seguridad;
- permanecer alerta y bien entrenado en los riesgos y regulaciones;
- los integrantes del equipo se responsabilizan de su propia seguridad y de la de los demás;
- disponer de procedimientos adecuados en caso de accidentes y botiquines básicos para primeros auxilios;
- tener un seguro que cubra los accidentes laborales, que cumpla con los requisitos legales como mínimo.

– Escoger, diseñar y construir instalaciones que garanticen la seguridad de las comunidades a lo largo del período de uso (p.ej. evitar pozos excavados sin la protección adecuada en escuelas, levantar vallas, proteger los pozos para evitar accidentes durante las paradas o pausas en la construcción, etc.).

– Involucrar a las comunidades en su propia seguridad durante la construcción y durante el uso de las instalaciones una vez terminadas:

- protección contra cualquier miembro de la comunidad que interfiera con las actividades en el lugar de la construcción, poniéndose en peligro a sí mismo, a otros, al equipo o a la propia instalación;
- dejar a cargo de la comunidad el lugar de trabajo y el equipo de seguridad durante el tiempo en que no se trabaje;

• asegurar que las comunidades comprenden que son responsables de las instalaciones al término de los trabajos y que esto requiere seguridad (mantenimiento de las barreras de protección, asegurarse de que los otros integrantes de la comunidad son conocedores de los riesgos, etc.);
• establecer responsabilidades mediante contratos firmados con las comunidades desde el principio del proyecto.

La Tabla 2.VI describe algunas actividades relacionadas con proyectos de agua y saneamiento que requieren una atención especial a la seguridad.

4.5 Participación comunitaria

Tanto el éxito de la ejecución como la durabilidad de un proyecto dependen directamente del apoyo decidido de los beneficiarios. Las comunidades tienen que hacer suyo el proyecto y sus beneficios. Esto sólo puede asegurarse con su participación en todas las fases del proyecto, desde las etapas iniciales de la definición hasta la ejecución, operación y mantenimiento. El aporte de los beneficiarios es también esencial en la evaluación.

La participación de las comunidades en el diseño del proyecto (p.ej. elección del recurso hídrico, tecnología a usar, nivel de servicio y ubicación de las instalaciones) ayuda a evitar:

– problemas sociales, como una distribución no equitativa de las instalaciones, pérdida del acceso al recurso por parte de algunas personas/grupos, cambios en los hábitos sociales (p.ej. los ríos, los puntos de agua públicos y los lavaderos son sitios importantes de reunión donde las mujeres se reúnen y la instalación de puntos de agua individuales puede tener un efecto negativo en la estructura social);

– problemas técnicos, como la tecnología inapropiada a las necesidades de la comunidad, o falta de conocimiento y recursos para la operación y mantenimiento del sistema.

La participación comunitaria sirve para motivar a la gente, desarrollar las capacidades locales y reducir el coste de la construcción. El sentido de la propiedad es también importante para garantizar la durabilidad.

Las comunidades pueden participar en el proyecto de distintas formas: sufragando parte del coste de construcción, aportando materiales (arena, grava, agua, etc.) o participando activamente en la construcción. Los beneficiarios deben asumir también responsabilidades en el proyecto, tales como el cuidado de las instalaciones, asegurar la seguridad de la comunidad durante la construcción, ayudar a acomodar a las personas del equipo de construcción, etc. La participación en la construcción también aumenta la capacidad de la comunidad para la operación y el mantenimiento del sistema (ver Capítulo III para más detalles).

Finalmente, la comunidad participará en el programa de promoción a la higiene necesario en todo proyecto de agua y saneamiento (ver Capítulo XX).

4.6 Gestión de la información, lecciones aprendidas e informes

A lo largo del desarrollo de los proyectos, se recoge gran cantidad de información. Esta información, además de ser utilizada por los que diseñan el proyecto, debe clasificarse, analizarse y transmitirse a otras partes interesadas en todo momento. También se necesita este procesado sistemático de la información para aprender, y así mejorar:

– La evaluación del proyecto: más que esperar al término del proyecto, hay muchas lecciones que se pueden aprender a lo largo del ciclo del proyecto, si se procesa regularmente la información.

– La gestión adaptativa: las acciones, métodos, objetivos y estrategias pueden evolucionar a lo largo del proyecto respondiendo a las lecciones que se aprendan.

– El aprendizaje comparativo: la información recogida se puede comparar a diferentes escalas (local, regional, nacional e internacional) para mejorar el aprendizaje.

– El aprendizaje y la creación de nuevas capacidades: la información, una vez procesada, puede facilitar la transferencia de conocimientos, mejorar las aptitudes y compartir experiencias o lecciones aprendidas.

El acceso a la información recogida facilita también la transparencia en la gestión del proyecto.

Las herramientas típicas para la gestión y el intercambio de la información son los informes, publicaciones y estudios, bases de datos, mapas y sistemas de información geográfica.

Los informes son esenciales para evaluar el progreso del proyecto y sirven también para comunicar las lecciones aprendidas a autoridades locales, instituciones y donantes. Los informes son también la forma habitual de documentar el progreso del proyecto y el típico primer paso para discutir los posibles cambios con los donantes. Hay varias clases de informes:

– Informes internos (mensuales, trimestrales y/o anuales) entre la base del proyecto y la capital o entre la capital y la sede central.

– Informes intermedios (a menudo trimestrales) y finales para los donantes (según estipulaciones contractuales).

– Informes especiales sobre temas específicos.

La capitalización de las experiencias se puede hacer de forma participativa, de forma que las partes interesadas definen el éxito, fracaso y la innovación de ciertos aspectos del proyecto. Esta información se puede usar para ayudar a definir acciones futuras.

La información se debe seleccionar y estructurar a lo largo de todo el proyecto. Se recomienda seguir una metodología y prepararla sistemáticamente como se describe en la Figura 2.17.

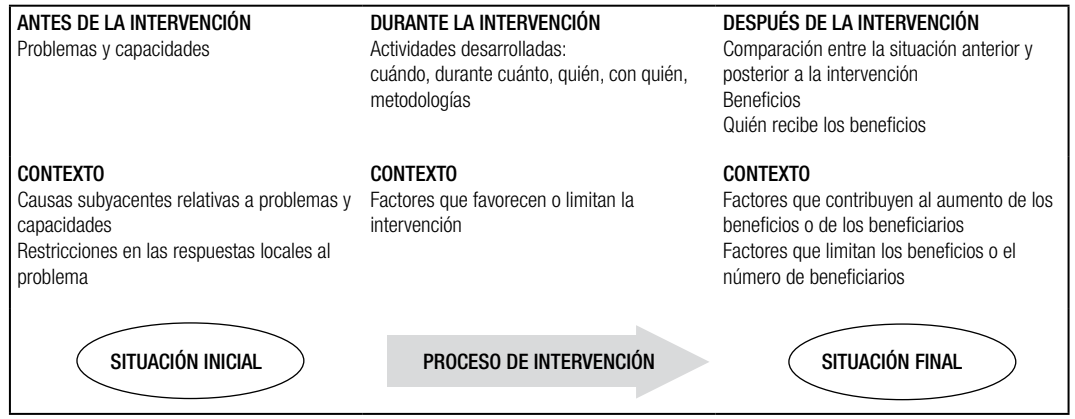


Figura 2.17: Selección y estructuración de la información durante el proyecto.

Esta capitalización participativa de un proyecto implica:
– Evaluación de la necesidad de capitalizar y qué capitalizar.
– Identificación de los actores que han de intervenir en el proceso.
– Recogida y clasificación de la información necesaria.
– Proceso de las entrevistas.
– Descripción de la intervención.
– Informes e impresos.
– Comunicación de los resultados.

4.7 Seguimiento

El seguimiento se refiere al análisis del progreso del proyecto en relación con la situación existente y los cambios que tienen lugar. Requiere una información continua y la recogida de datos, así como el análisis y uso de la información para adaptar la gestión y la toma de decisiones. Se aplica para:

– Analizar la evolución del marco lógico, centrándose en los resultados, recursos y actividades. Verificando la importancia de los objetivos definidos en el proyecto.

– Comparar el avance de las actividades del programa en comparación con lo planificado.

– Evaluar si se han tenido en cuenta las necesidades y limitaciones del proyecto y qué cambios en la situación y necesidades requerirían modificar la intervención.

– Evaluar la gestión de los recursos (financieros, humanos y materiales) en relación con la definición del proyecto y los resultados obtenidos.

– Revisar los procedimientos de implementación para definir las necesidades de información a diferentes niveles en la estructura de gestión del proyecto. Básicamente, esto significa relacionar las necesidades de información con cada uno de los roles en la toma de decisiones.

Las tareas de seguimiento son una forma muy apropiada de involucrar a la comunidad. El seguimiento participativo permite a las comunidades aprender lecciones y trabajar con el equipo para hacer cambios en el programa.

Es importante crear un sistema de seguimiento con objetivos claros que especifique los recursos humanos y financieros necesarios y asigne las correspondientes responsabilidades. Un sistema de seguimiento ha de ser simple y manejable. Los pasos par la creación de un sistema de seguimiento son:

– Selección de indicadores relevantes (relevantes y fáciles de obtener y analizar, ver los indicadores de proyecto SMART en la Sección 3.2.1)

– Definición del método de recogida de datos y de las responsabilidades de la gente que participa en estos procesos.

– Definición de cómo se presentará el análisis, discutido con las personas involucradas y utilizado para información de la planificación del programa y la adaptación de la gestión.

Una de las herramientas específicas que está utilizando ACF para el seguimiento de los proyectos es el APR (Informe de Progreso de Actividad). Este informe, de carácter generalmente mensual, consta de dos partes. Una de ellas es un informe escrito con los siguientes apartados:

– Información general / evolución del contexto.
– Objetivos del mes previstos y conseguidos.
– Actividades realizadas durante el periodo.
– Seguimiento de los objetivos, resultados e indicadores de la matriz del marco lógico.
– Reuniones / acciones de coordinación.
– Aspectos relacionados con la gestión del proyecto (administración, logística…).
– Problemas y soluciones.
– Objetivos para el próximo periodo.La segunda parte incluye tablas y figuras para mostrar gráficamente la evolución del proyecto y dar una imagen global que facilite el seguimiento y la toma de decisiones. Aparecen los siguientes puntos:

– Información básica del proyecto

– Planificación de actividades y realización de informes (tabla donde las actividades de la matriz del marco lógico se descomponen en subactividades, y se cuantifica su consecución).

– Planificación del proyecto (tabla donde se planifican las subactividades y se sigue su evolución).
– Gráfico global comparativo del progreso de las actividades previsto y real.
– Progreso comparativo de actividades (tabla correspondiente al gráfico anterior).
– Seguimiento de indicadores de agua, saneamiento e higiene de ACF-Internacional anuales.

Finalmente, cabe resaltar que el seguimiento de un proyecto y la evaluación son dos actividades distintas, con objetivos diferentes, que pueden usar la misma información. *El seguimiento* es progresivo y está centrado en la gestión del proyecto, y la *evaluación* en el desarrollo del proyecto tiende a determinar si el proyecto ha alcanzado sus objetivos y otros aspectos a considerar para intervenciones futuras. Normalmente el seguimiento alimenta la evaluación.

5 EVALUACIÓN

La evaluación es una forma sistemática de revisar los logros de un proyecto contra las expectativas planificadas, y usar las experiencias y lecciones aprendidas en el proyecto para diseñar proyectos y programas futuros. La evaluación se puede definir como una valoración de la relevancia, eficiencia, eficacia, impacto, viabilidad económica y financiera, y durabilidad de un proyecto. La evaluación se basa en la medida de indicadores (ver Sección 3.2.1).

La evaluación puede ser tanto interna (realizada por la organización que ejecuta el proyecto) como externa (realizada por alguien ajeno al proyecto). Se recomienda que los proyectos tengan evaluaciones externas.

Las evaluaciones requieren tiempo y recursos, por ello es importante tenerlas en cuenta en el diseño inicial e incluirlas en los presupuestos del proyecto.

Cada vez más, el número de evaluaciones de proyectos aumenta, especialmente por exigencia de los donantes. Con las evaluaciones, las agencias buscan una mejora en la calidad de su trabajo, así como aumentar la rendición de cuentas hacia los beneficiarios, socios y donantes.

ACF Internacional ha desarrollado su propia política y directrices de evaluación. El enfoque se basa en la evaluación sistemática de los siete criterios del Comité de Asistencia al Desarrollo (DAC-Development Assistance Committee): Eficacia, Eficiencia, Impacto, Durabilidad-Conectividad, Pertinencia, Cobertura, Coherencia.

También se deben analizar los sistemas de seguimiento del proyecto, así como los aspectos y principios transversales más relevantes (género, VIH/SIDA, preservación del medio ambiente, grupos de población especialmente vulnerable, etc.)

Criterios principales usados en la evaluación del proyecto.

Eficacia: grado de alcance del objetivo específico definido en el proyecto (comparación de los resultados conseguidos con el objetivo específico planificado). *P.ej.: se ha conseguido el 80% del objetivo: solo el 80% de la población tiene acceso a un agua segura al término del proyecto, en lugar del 100% que se esperaba.*

Eficiencia: la eficiencia mide los resultados (outputs) cualitativos y cuantitativos, en relación con los recursos (inputs) empleados: ¿se usan en el programa los recursos de menor coste para conseguir objetivos de calidad en el contexto en el que se desarrolla?

Esto requiere la comparación entre las alternativas que pueden proporcionar los mismos resultados para ver si se ha usado el proceso más eficiente. P.ej.: *otros proyectos usaron tecnologías locales para el sistema de bombeo, reduciendo el coste de esta actividad un 70% y mejorando la durabilidad sustancialmente*.

Impacto: el impacto se refiere a los efectos más amplios del proyecto: sociales, económicos, políticos, técnicos, y ambientales. Incluye los cambios inmediatos y a largo plazo, esperados e inesperados, positivos y negativos, y a nivel macro y micro. Los estudios de impacto se preguntan: ¿qué diferencias ha marcado el proyecto en los beneficiarios?

A veces es difícil apreciar el impacto porque hay varios factores que pueden influir en los resultados (el problema consiste en saber en qué medida afecta el proyecto a la situación, teniendo en cuenta los demás factores) y también, porque un mismo resultado puede tener varios impactos. P.ej.: *una mejora en el acceso al agua tuvo un impacto positivo en la economía de las familias: se ahorró un x% en el coste del consumo de agua.*

Durabilidad - Conectividad: se refiere al impacto del proyecto una vez completado y durante un largo periodo de tiempo. Requiere, a largo plazo, el uso y mantenimiento correctos de las instalaciones entregadas, la asimilación y la aplicación de los conocimientos adquiridos por los beneficiarios durante el proyecto, y la continuidad de la organización comunitaria desarrollada por el proyecto. Se habla de conectividad en el sentido de asegurar que las actividades que se realizan en un contexto de emergencia a corto plazo, tienen en cuenta otros problemas inter-conectados y de más largo plazo.

La durabilidad se comprueba con preguntas como: ¿podrían continuar consiguiendo los objetivos del programa los actores existentes si se detuviera el proyecto? ¿Se consideran propietarios del programa el país anfitrión y los beneficiarios, de modo que tengan la motivación y capacidad necesarias para continuarlo?

Los factores principales que pueden afectar la durabilidad son:

- capacidad financiera y de gestión de la institución anfitriona;

- factores socio-culturales: relativos a la aceptación del programa;
- factores técnicos: la adecuación de la tecnología a la capacidad financiera y humana de la institución anfitriona.

La durabilidad es generalmente una prioridad mayor en los proyectos de desarrollo a largo plazo, que en los proyectos de ayuda en emergencias. No obstante, incluso la ayuda de emergencia debe basarse en la capacidad local y orientarse hacia la autosuficiencia de la población. P.ej.: *el 80% de las instalaciones siguen funcionando y están gestionadas por las comunidades un año después del término del programa.*

Tabla 2.VII: Indicadores de evaluación y matriz del marco lógico[1].

Nivel de la matriz de marco lógico	Tipo de información	Momento de la recogida	Concepto a medir
OBJETIVO GENERAL	Cambio importante en el desarrollo específico al sector. Medidas basadas en tendencias, posibilidad de indicadores clave sectoriales. NOTA: el proyecto sólo es uno de varios factores que influyen en el cambio.	Término del proyecto & ex-post.	SOSTENIBILIDAD "Sigue produciendo beneficios". IMPACTO "Hay diferencia en el entorno amplio". PERTINENCIA "Se cubren las necesidades del grupo meta".
OBJETIVO ESPECÍFICO	Cambios realistas y sostenibles de la situación de los grupos meta, específicos a la intervención del proyecto.	En medio del proyecto y a su término.	
▲ RESPUESTA DE LOS BENEFICIARIOS ▼	Indicación precoz sobre la probabilidad de éxito en la ejecución por las opiniones de los beneficiarios sobre el acceso, uso y grado de satisfacción con los servicios suministrados por el proyecto.	Trimestralmente /anualmente (Recogido como parte del seguimiento de los resultados).	INDICADORES PRINCIPALES Capacidad de haber cambios pertinentes y sostenibles.
RESULTADOS	Medidas cuantitativas y cualitativas de progreso físico en el suministro de servicios. Relaciones de coste y de input /output de la ejecución. Comparaciones de los logros reales con los objetivos planificados.	Trimestralmente/anualmente al final del proyecto.	EFECTIVIDAD "Progreso hacia los objetivos – haciendo las cosas correctas" EFICIENCIA "ejecución eficiente – haciendo las cosas correctas"
ACTIVIDADES	Medidas basadas en el plan de actividades. Comparaciones de las fechas reales de comienzo y final con las fechas previstas. Variaciones en el plan previsto. Fechas de hitos y sucesos.	Semanalmente/mensualmente.	ECONOMIA "asegurar la mejor relación entre el coste, la calidad y el tiempo"
COSTES	Medidas basadas en el presupuesto del proyecto. Comparaciones del gasto real con el planificado. Análisis de las contribuciones del gobierno, donantes y beneficiarios. Análisis de la varianza de los costes.	Semanalmente / mensualmente.	

[1] Adaptado de E.U. Project Cycle Management Training Handbook, ITAD, 1999.

Cabe mencionar el aspecto de la *posibilidad de repetición*. Se pueden preguntar las cuestiones siguientes: ¿es capaz la comunidad o institución local de continuar y/o aumentar los servicios? ¿Se puede transferir la experiencia a otros sitios y situaciones o fue tan concreta que fue una experiencia aislada? La respuesta puede que no sea ni positiva ni negativa, pero sirve para aprender sobre lo que puede ser repetido y lo que no puede ser útil en el diseño de proyectos futuros, tanto en el mismo sitio como en otros.

Pertinencia: análisis global de si fueron y continúan siendo válidos los objetivos del proyecto con relación a la problemática y necesidades de la zona. Debe incluir tanto un análisis de la consistencia del diseño del proyecto, como un análisis de compatibilidad de prioridades entre beneficiario y donante. Este punto deberá también recoger los aspectos de complementariedad con otras intervenciones y sus actores y con las capacidades locales existentes.

En lo que a la pertinencia se refiere, la evaluación procura responder a cuestiones como: ¿está el proyecto en línea con las necesidades y prioridades de los beneficiarios, con el objetivo global y con la estrategia de ACF? ¿Se adecuaba el objetivo al contexto a lo largo del proyecto? Es útil explorar en detalle este último punto para aprender lecciones aplicables a proyectos futuros.

Cobertura: la necesidad de alcanzar la mayor parte de los grupos que se enfrentan al sufrimiento de la amenaza de vida donde se hallen. La evaluación deberá asegurarse de que el proyecto ha alcanzado a las familias más vulnerables y que los proyectos tienen un alcance geográfico adecuado y basado en la identificación de las poblaciones más vulnerables.

Coherencia: se trata de evaluar otras políticas (seguridad, desarrollo, militar, comerciales…) y asegurar que existe consistencia y se tienen en cuenta consideraciones humanitarias y derechos humanos. Puede implicar la evaluación del nivel de coordinación de la agencia con los otros socios de la zona y del proyecto, asegurándose de que la estrategia del proyecto es consistente con la estrategia global de la misión, la estrategia para el país y la estrategia y políticas gubernamentales. En caso de proyectos con un enfoque integral, cabe también evaluar el nivel de integración con otros sectores de intervención (seguridad alimentaria, salud, nutrición, etc.).

Los criterios de evaluación desarrollados anteriormente se deben usar a todos los niveles de la matriz del marco lógico para tener una visión completa de la evaluación del proyecto. La Tabla 2.VII sitúa los criterios de evaluación en la matriz del marco lógico y describe el tipo de información requerida, así como el momento para conseguirla.

II

Recursos hídricos

CAPÍTULO III

Gestión del suministro de agua

1 Objectivos generales 72
2 Tipos de gestión 73
2.1 Actores a cargo de la gestión del suministro de agua 73
2.2 Contexto y gestión 76
2.2.1 Áreas rurales y comunidades aisladas y dispersas 76
2.2.2 Áreas urbanas y periurbanas 77
2.2.3 Suministro de agua en emergencias 78
2.3 Gestión según el tipo de sistema de suministro de agua 78
2.3.1 Manantiales y arroyos 79
2.3.2 Pozos sin proteger 79
2.3.3 Bombas Mmanuales 79
2.3.4 Bombas eólicas (aerobombas) 80
2.3.5 Bombas motorizadas/eléctricas 80
2.3.6 Sistemas de bombeo solar 80
2.3.7 Recogida de agua de lluvia con depósitos domésticos o comunitarios 81
2.3.8 Recogida de agua de lluvia con depósitos de superficie (estanques) 81
2.3.9 Sistemas de tratamiento y distribución de agua 82
2.3.10 Situaciones de emergencia 83
3 Gestión basada en la comunidad 83
3.1 Cómo funciona 84
3.2 El comité de agua 85
3.2.1 Funciones del comité de agua 85
3.2.2 Componentes del comité 85
3.2.2.1 Presidente 85
3.2.2.2 Técnico 86
3.2.2.3 Tesorero 86
3.2.2.4 Promotor de higiene 87
3.2.2.5 Encargado de reforestación 87
3.3 Técnico de reparaciones 87
3.4 Red de almacenes de repuestos 88
3.5 Autoridades locales 88
3.6 Lanzamiento de un sistema de gestión comunitario 89
3.6.1 Evaluación de necesidades 89
3.6.2 Establecimiento del sistema de gestión y acuerdos con las comunidades 89
3.6.3 Constitución y elección del comité del agua 90
3.6.4 Participación comunitaria durante la construcción 90
3.6.5 Capacitación del comité 91
3.6.6 Transferencia del suministro de agua 91
3.6.7 Supervisión y seguimiento 92
3.7 Recuperación de costes 93
3.7.1 Principios de la contribución 93
3.7.2 Sistemas de cobro 93
3.7.3 Estimación de las tarifas 94

La gestión del suministro de agua comprende todas las actividades encaminadas a asegurar la durabilidad, el uso correcto y la explotación racional de los recursos hídricos e instalaciones para el suministro de agua. Se incluyen también todas las acciones necesarias para asegurar el suministro equitativo a toda la población involucrada.

La solución a largo plazo de los problemas relacionados con el acceso al agua dependerá en gran medida de la forma en que se gestionen el recurso hídrico y las instalaciones. Las deficiencias en esta gestión causan daños al medio ambiente, contaminación y sobreexplotación de acuíferos, baja producción de alimentos, fallos en sistemas existentes de agua y saneamiento, condiciones sanitarias precarias y desigualdades en el acceso al agua dentro de las comunidades. Estos problemas son igualmente consecuencia de un desarrollo inadecuado, o de un uso y demanda de agua inapropiados.

La gestión del agua comprende no sólo el agua para beber y para usos domésticos, sino también la destinada al riego, ganadería y usos industriales. Estos usos requieren cantidades muy superiores a las destinadas a los usos domésticos. La agricultura consume aproximadamente el 70% del agua dulce en el mundo, y muchas técnicas de regadío tienen pérdidas sustanciales (hasta el 60%), bien porque no son las adecuadas o porque están mal gestionadas.

En general, la disponibilidad y calidad del agua se pueden garantizar con:

– Una explotación racional de los recursos hídricos. La conservación de estos recursos debería garantizar su explotación sostenible.

– Una estrategia coherente que compagine el desarrollo de la demanda de agua con la disponibilidad.

– Un buen mantenimiento y operación de las instalaciones para optimizar el suministro (muchos sistemas urbanos tienen fugas de hasta el 30% del agua que suministran) y preservar la calidad del agua.

– Un control del consumo para evitar fugas y despilfarros.

– Una mejora de las técnicas y sistemas de riego, así como la selección de cultivos adecuados desde el punto de vista ambiental para reducir sustancialmente el consumo de agua.

Una gestión apropiada requiere la integración de los dos componentes: agua y saneamiento. La gestión de aguas residuales (consideradas como parte del sistema de suministro de agua), la gestión de excrementos, la gestión de residuos sólidos, el alcantarillado y otras actividades ligadas al saneamiento, son de la mayor importancia y responsabilidad dada su influencia decisiva en los recursos y suministro de agua, además de su complementariedad en el objetivo de reducir los riesgos sanitarios.

Las causas de una gestión deficiente del suministro de agua incluyen falta de capacidad y conocimientos, mala organización, y carencia de los hábitos y voluntad necesarios para una gestión adecuada. Por lo tanto, la solución debe orientarse, en buena medida, hacia aspectos sociales, desarrollando la concienciación, la formación y la organización.

Este capítulo se centrará principalmente en el ámbito de la comunidad, y se ocupará de la gestión de los sistemas de agua y saneamiento más que de la gestión de los recursos de agua, priorizando la importancia de un suministro equitativo, el uso adecuado de las instalaciones y la durabilidad de los sistemas. Las comunidades deben involucrarse integralmente en la gestión de sus recursos, lo que implica su participación en todos los mecanismos de gestión.

1 OBJETIVOS GENERALES

La clave de una buena gestión en el suministro de agua se basa en la elección de una tecnología apropiada. Es esencial que se seleccione la tecnología adecuada a las necesidades, capacidades y deseos de la comunidad. La capacidad de la comunidad para entender, operar y pagar por el mantenimiento es esencial para la durabilidad del sistema. En muchas ocasiones, soluciones de bajo coste y tecnologías locales existentes serán la mejor opción. El coste inicial del sistema es también un factor importante a considerar, ya que frecuentemente está directamente relacionado con los costes de operación y mantenimiento. Muchos proyectos fallan porque la tecnología utilizada no es la apropiada a las capacidades y necesidades de la comunidad.

No hay ningún modelo estándar para la gestión de sistemas de agua. Hay muchos contextos diferentes, cada uno con factores específicos a considerar: características del recurso hídrico, tecnología de la red de distribución; necesidades, demandas y nivel de desarrollo de la comunidad; organización de la comunidad; mecanismos sociales y políticos; nivel de participación de la población; capacidades técnicas; disponibilidad de equipos y materiales; voluntad de pagar y participar en la gestión; gestión comunitaria o privada; y otros. La definición y organización de un sistema de gestión requiere una evaluación completa de la situación. La participación de la comunidad desde el comienzo del proyecto es clave. En este capítulo se presentan las recomendaciones y puntos esenciales a tener en cuenta a la hora de establecer un sistema de gestión de agua.

Durante una crisis, los problemas están relacionados no sólo con la carencia de instalaciones sino también con la pérdida de organización social y capacidades humanas y técnicas. La organización de las comunidades para gestionar su propia red de agua puede tener también un impacto en la recuperación de la comunidad, ayudando al fortalecimiento de los lazos sociales.

Los proyectos de agua y saneamiento deben promover la gestión activa por parte de la comunidad. A la hora de definir un régimen de gestión adecuado, es necesario seguir los siguientes pasos:

– Analizar los recursos hídricos disponibles y determinar una explotación adecuada.

– Definir una infraestructura duradera, incluyendo un nivel apropiado de mantenimiento.

– Garantizar cantidad suficiente de agua, de la calidad adecuada y con un acceso equitativo para todos los integrantes de la comunidad.

– Asegurar el acceso al agua a todas las poblaciones vulnerables.

– Establecer un sistema de recuperación de costes que asegure que los consumidores puedan pagar por la operación y mantenimiento del sistema.

– Promocionar un uso y manejo adecuados del agua (integración en programas de promoción de la higiene, ver Capítulo XX).

– Promocionar la seguridad en relación con la construcción y uso de las instalaciones.

– Poner en práctica los mecanismos de sensibilización necesarios para promover la organización y participación en la comunidad.

– Usar métodos que potencien el papel de la mujer tanto en el diseño y construcción de las infraestructuras como en la gestión del sistema.

– Integrar las políticas hídricas regionales y nacionales: estas políticas deben promover el papel activo de las comunidades en la gestión del agua, proporcionando las herramientas y metodologías adecuadas para ello. Los sistemas deben diseñarse de acuerdo con estas políticas. Del mismo modo, también es necesario defender activamente una mejora de las políticas hídricas, de forma que tengan más en cuenta a las comunidades.

ACF incide en el acceso universal al agua como elemento esencial en la lucha contra el hambre.

2 TIPOS DE GESTIÓN

Existen varios esquemas de gestión que se deben adaptar a cada contexto específico, que se caracterizará por un conjunto de necesidades y factores determinado. La Tabla 3.1 muestra cómo tener en cuenta diferentes factores a la hora de diseñar los elementos clave de un sistema de gestión del suministro de agua.

Tabla 3.1: Factores a considerar en el diseño de un sistema de gestión del suministro de agua.

Tema	Factores	Elementos clave en la gestión
Sistema de suministro de agua	Tipo de suministro de agua (tecnología usada) Tamaño del sistema de distribución	Requisitos de operación y mantenimiento Coste
Comunidad	Número de usuarios Estructura social y organización local Capacidades existentes Mecanismos de supervivencia, situación económica	Gestores de puntos de agua Distribución de tareas Sistema para la recuperación de costes Relaciones entre los diferentes actores
Contexto	Urgencia de la situación Papel de la administración pública	

2.1 Actores a cargo de la gestión del suministro de agua

La gestión de un recurso hídrico y el suministro de agua son dos tareas distintas, cada una con sus propios requisitos y responsabilidades. Ambas áreas de gestión deben estar debidamente establecidas y reguladas de acuerdo con las leyes del país.

La gestión de los recursos hídricos debe estar bajo el control de los gobiernos y las comunidades. En los casos en que un mismo recurso hídrico está compartido por varias comunidades, será necesario tener un acuerdo claro entre ellas (a veces hay varios países involucrados), y establecer procedimientos y reglas para que se comparta razonablemente el agua y se eviten conflictos.

Hay tres actores principales que pueden estar a cargo de la gestión del suministro de agua: el sector privado, el sector público y la sociedad civil – que puede ser la misma comunidad y/o las ONG (las ONG y otras organizaciones pueden participar en este proceso, pero generalmente no estarán a cargo directo de la gestión del suministro a largo plazo). En ocasiones hay una gestión conjunta de los servicios, por medio de un comité de dirección que incluye empresas privadas, estructuras públicas y representantes de la comunidad.

Este Capítulo no profundizará en el debate sobre los servicios públicos frente a los privados (ver Cuadro 3.1). Cada situación requiere un análisis específico para definir el sistema de gestión más adecuado. Sin embargo, es importante recordar que el objeto de un proyecto de suministro de agua consiste en asegurar el acceso equitativo y duradero a toda la comunidad. Los mecanismos de gestión existentes deben considerarse y analizarse, en todo momento, a la luz de este objetivo.

Cuadro 3.1
Gestión privada y pública.

La gestión privada frente a la pública es un tema importante para muchas organizaciones que trabajan en agua y defensa de derechos, y está relacionado principalmente con el suministro urbano de agua y la participación de compañías de agua. Hay varios niveles de discusión que conviene aclarar:

– El suministro seguro de agua conlleva normalmente unos costes, por lo que su consumo requiere alguna forma de pago, bien a servicios públicos o privados. El pago a un servicio privado incluye un beneficio.

– La gestión privada apenas representa el 10% del suministro de agua en todo el mundo, y entre el 2 y el 5% en los países en vías de desarrollo. Globalmente, éste no es el tema más importante en relación con los problemas de suministro de agua:

- Normalmente, este asunto no concierne a las áreas rurales.
- La privatización no es generalmente un asunto que concierne a la disponibilidad del agua para la agricultura, que es el principal consumidor.
- Los problemas sanitarios relativos al agua y saneamiento no se relacionan únicamente con el gestor del suministro, sino que suelen estar relacionados con muchos otros factores como la higiene, etc.
- Se proporcionan muchos fondos para apoyar el proceso de privatización, excluyendo otras posibles soluciones que pueden resultar más apropiadas en contextos con necesidades importantes. Por otra parte, la incidencia en contra de la privatización es el principal tema de discusión en muchos foros y acaba desviando el esfuerzo de los activistas hacia otros asuntos importantes.

– Muchas organizaciones critican la estrategia de los grandes donantes como el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional, que apoyan decididamente la gestión privada en lugar de dar más apoyo al sector público y al desarrollo de políticas hídricas.

– Han habido notorios casos de corrupción relacionados con compañías de agua, pero la corrupción no sólo concierne al sector privado. Las discusiones relativas a la privatización y la corrupción están más relacionadas con el funcionamiento práctico del suministro de agua, que con la eficiencia de los modelos de privatización o cuestiones de derecho al agua. Las empresas de agua involucradas en estos casos tienen una responsabilidad importante, incluso cuando no estén haciendo nada estrictamente ilegal.

– Hay división de opiniones en relación con la mayor eficiencia de la gestión privada comparada con la pública (si se hace la inversión necesaria). Una diferencia clave es que las empresas privadas pueden aportar las inversiones cuantiosas que se requieren en algunas situaciones. La eficiencia está más relacionada con la existencia de competencia y opciones para elegir, mientras que los monopolios parecen menos eficientes, aunque tanto estructuras públicas como privadas puedan ser monopolísticas.

– Debe haber una política clara en cada país para regular el funcionamiento de las estructuras públicas y privadas. Esta política deben garantizar que los que suministran el servicio aseguran un acceso equitativo, con políticas especiales para los grupos pobres y vulnerables, al tiempo que limitan el impacto ambiental. Incluso aunque no haya obligaciones legales o contractuales en este campo (cosa corriente en muchos países donde el marco legal y/o la capacidad de regulación legal no está muy desarrollada), se debe instar a las empresas a que actúen éticamente en las áreas de protección ambiental y responsabilidad social, en lugar de aprovecharse de la inexistencia de regulaciones para aumentar sus beneficios.

En los países en vías de desarrollo, las grandes corporaciones tienden a interesarse por las grandes ciudades, y su nivel de participación puede ir desde la construcción de infraestructuras a la gestión del sistema de suministro. Estas empresas multinacionales crean a menudo empresas subsidiarias locales o sociedades mixtas con socios locales.

Los sistemas gestionados por empresas privadas no implican necesariamente precios más elevados del agua. Algunas experiencias revelan que generalmente los pobres pagan más por el agua a vendedores ocasionales (aguadores, etc.) que cuando tienen un sistema formal establecido. Los precios deben ser regulados por las autoridades locales y han de estar protegidos por una política clara.

Las empresas privadas que realizan grandes inversiones en los sistemas de suministro de muchas ciudades pueden negociar contratos a largo plazo para el suministro de agua (hasta 20 años en algunos casos) Esto no es una buena opción ya que si no hay una buena gestión o el acuerdo no es el más adecuado, resulta complicado cambiarlo.

La gestión privada es diferente también según se trate de grandes empresas o de propietarios privados de puntos de agua individuales. En el caso de puntos de agua individuales privados (un pozo, pozo perforado o una conexión a una red), en muchas ocasiones el propietario reparte agua a otros usuarios de la comunidad. El propietario puede tener beneficios directos suministrando esta agua y tiene normalmente incentivos para mantener el punto de agua.

En algunos proyectos puede ser apropiado apoyar la mejora de puntos de agua de propiedad privada cuando se garantiza el acceso de la comunidad y no existe discriminación. Es recomendable establecer reglas con los propietarios, la comunidad y las autoridades: incluyendo el precio del agua y la manera de negociar este precio, así como la promoción del acceso equitativo al agua.

El acceso equitativo puede requerir arreglos especiales para poblaciones vulnerables (precios más bajos o precios reducidos a cambio de algún tipo de trabajo, por ejemplo) y para instituciones públicas (suministrando gratuitamente una cierta cantidad de agua a escuelas y hospitales). Un argumento para negociar este tipo de acuerdos con los propietarios consiste en hacerles entender que las mejoras en su sistema aumentarán las ventas de agua y, en consecuencia, los beneficios.

Los sistemas de suministro de agua también pueden ser gestionados por organismos regionales o por el gobierno local. Algunas experiencias muestran una baja eficacia en estos casos debido al riesgo de corrupción o a la falta de conocimientos. A menudo las decisiones se toman por razones políticas. Los intereses y prioridades pueden cambiar al cambiar el gobierno, y se contrata personal por nepotismo más que por su formación y capacidad. A consecuencia de ello, el mantenimiento puede ser deficiente y comprometer la durabilidad del sistema.

Una vez más, la existencia de una política que evite estos problemas y que deposite la responsabilidad de ciertas tareas en manos profesionales, en lugar de depender de políticos, es la clave para mejorar la gestión.

En conclusión, hay varias experiencias (tanto con la gestión pública como con la privada) en las que zonas vulnerables se han marginado y reciben un servicio de muy mala calidad o no reciben servicio alguno. Esto se puede deber a la falta de capacidad o a la carencia de interés por parte de los políticos y, en el caso de las empresas privadas, a la percepción de que habrá un riesgo elevado de impago de los suministros. Las autoridades tienen la responsabilidad de desarrollar políticas de suministro a favor de las poblaciones vulnerables. Otro problema es la falta de participación de las comunidades en la gestión, lo que puede crear desigualdades y conflictos sociales, como refleja la experiencia.

La gestión comunitaria es una buena solución para sistemas de poca envergadura y será seguramente la más adecuada (o común) en muchas situaciones humanitarias y de desarrollo. En áreas con sistemas gestionados por la comunidad, las operaciones se deciden y aceptan por los beneficiarios para reducir el riesgo de posibles conflictos y faltas de entendimiento. Este tipo de gestión se desarrolla ampliamente en la Sección 3.

Los programas de ACF promueven normalmente la gestión comunitaria o pública, pero hay también casos en los que se ha apoyado a los propietarios privados de puntos de agua. Las actividades se centran en el fortalecimiento de las estructuras organizativas locales suministrando los recursos adecuados y entrenando al personal. Es importante involucrar las comunidades en la gestión, incluyendo a los grupos vulnerables.

La conclusión principal es que los mecanismos de gestión del agua deben ser regulados por una política clara y efectiva, que asegure la eficiencia del sistema y que se cubren las necesidades de los beneficiarios. Las organizaciones que trabajan con comunidades vulnerables deben contribuir al desarrollo de estas políticas a fin de proteger los intereses de estas comunidades. Todo sistema de gestión (privado, público o comunitario) debe garantizar lo siguiente:

– Transparencia en la gestión (toda la información debe estar disponible para todo el mundo).
– Participación activa de la comunidad en la gestión.
– Acceso al agua para todo el mundo y especialmente para los más vulnerables (teniendo en cuenta que los precios sean asequibles para todos).
– Uso adecuado del sistema (mantenimiento y mejoras garantizadas).
– Durabilidad del sistema.
– Protección del medio ambiente.

2.2 Contexto y gestión

2.2.1 ÁREAS RURALES Y COMUNIDADES AISLADAS Y DISPERSAS

Las áreas aisladas son ignoradas frecuentemente por las autoridades y pueden ser extremadamente vulnerables. La incidencia es una parte importante de la puesta en práctica de un proyecto y debe aspirar a que las necesidades de poblaciones marginadas sean escuchadas y tenidas en cuenta por los que toman las decisiones.

Las comunidades pequeñas y aisladas necesitan soluciones de bajo coste que se puedan gestionar con un apoyo exterior mínimo. La disponibilidad de piezas de recambio y consumibles puede ser una de las principales preocupaciones, y siempre es difícil encontrar personal cualificado. La formación de la comunidad en la gestión del sistema de suministro de agua, y la selección de una tecnología que asegure que la operación y el mantenimiento son los adecuados a los recursos humanos y financieros disponibles, son esenciales para garantizar la durabilidad. El caso concreto de las comunidades pastorales se explica en el Cuadro 3.2 y Figura 3.1.

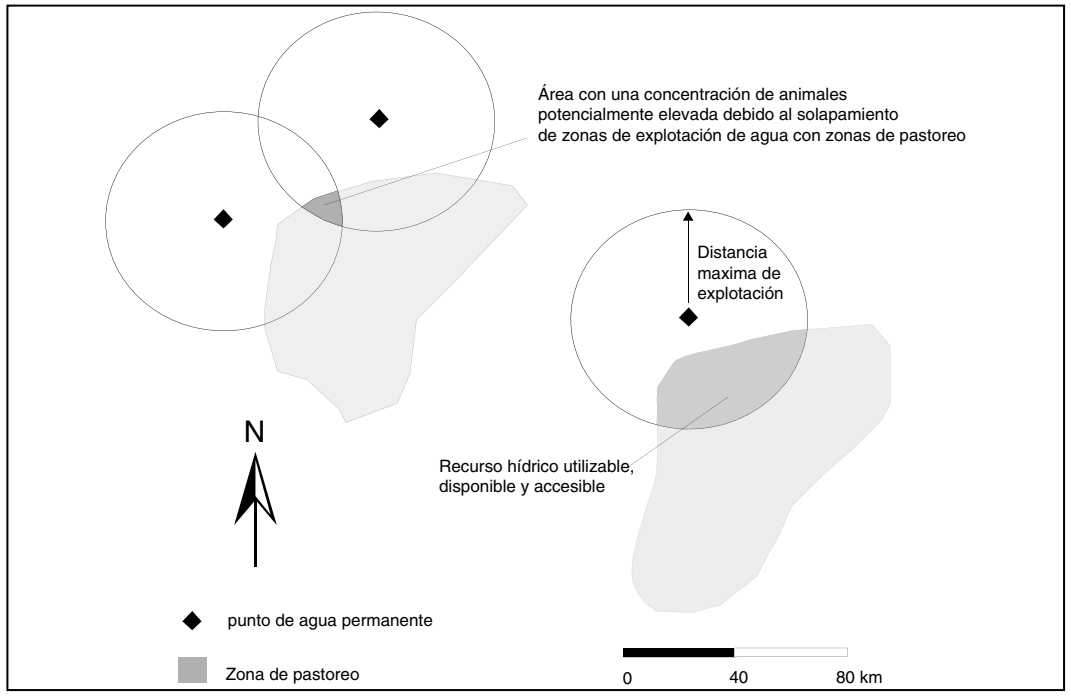


Figura 3.1: Gestión en contextos nómadas y pastorales.

En áreas escasamente pobladas, en las que el sentido de comunidad no está muy desarrollado, un enfoque casa a casa puede que sea el más indicado (puntos de agua familiares, tratamiento del agua a nivel doméstico, promoción de la higiene)

La solución más corriente en áreas rurales consiste en la construcción de puntos de agua individuales e independientes, tales como pozos sin proteger o bombas manuales, o redes de distribución de tamaño reducido. Es importante considerar las normativas nacionales y regionales relevantes para escoger la tecnología adecuada y definir los procedimientos de gestión apropiados (constitución de comités, etc.) Las tecnologías de bajo coste y la utilización de materiales locales en la construcción son buenas maneras de aumentar la durabilidad del sistema.

Cuadro 3.2
La gestión en contextos nómadas y pastorales.

Los nómadas tienen una forma de vida tradicionalmente errante, y pueden verse afectados por conflictos o por cambios climáticos de formas muy particulares. Los puntos de agua de los nómadas o pastores se caracterizan a menudo por un uso temporal, en los que prima más disponer de suficiente agua para el ganado y las personas que el nivel de calidad de esta agua. La supervivencia de estas comunidades depende de su capacidad para proporcionar agua y pasto suficiente a sus animales.

Cualquiera que sea la tecnología escogida, debe garantizar el suministro de agua. Si un sistema falla, puede poner en peligro a la comunidad entera. La experiencia muestra que los sistemas tradicionales son la mejor opción, ya que sólo requieren de un mantenimiento muy básico y no hay necesidad de piezas de repuesto ni consumibles. Los comités de agua y un sistema de recuperación de costes pueden fallar fácilmente, por lo que la principal garantía de durabilidad es la calidad de la construcción del punto de agua.

Los tipos más corrientes de puntos de agua son:

– Pozos sin proteger o combinados (ver Capítulos XII y XVI) en los que el agua se extrae con métodos tradicionales como poleas, tracción animal o el "shaduf". Durante la formación se debe hacer hincapié en la limpieza del pozo.

– Estanques (llamados a veces birkads). La formación debe hacer hincapié en el drenaje y el mantenimiento del estanque (ver Capítulo VIII).

– Aguas superficiales.

La gestión del agua puede ser complicada y se debe adaptar a los mecanismos sociales existentes (hábitos nómadas, reparto de áreas por grupos sociales, etc.). La gestión del agua requiere también la localización de los puntos de agua. Cuando se ubican nuevos puntos de agua, se han de tener en cuenta los aspectos sociales para evitar conflictos entre diferentes clanes pastorales, o entre pastores y agricultores. Antes de construir cualquier punto de agua, será necesario analizar las leyes locales correspondientes, tales como los derechos de pastoreo y derechos de paso, en especial en lo referente al pastoreo en tierras de cultivo. En Afar, Etiopía, los pozos se consideran puntos de agua y propiedad particular al mismo tiempo, y si se construyen en terreno público de pastoreo, entonces esta tierra se convierte en propiedad privada, anulando las reglas anteriores y reglamentaciones tradicionales.

Los conflictos y los cambios en el régimen de lluvias afectan las rutas nómadas tradicionales y se pueden requerir puntos de agua nuevos. Los sistemas nuevos han de planificarse y diseñarse teniendo en cuenta muchos factores: la existencia de un recurso hídrico, pastos, posibilidades de conflictos. Cuando se construye un punto de agua nuevo, a menudo los nómadas traen más ganado a la zona y crean una situación en la que hay un riesgo mayor de enfermedades animales y sobrepastoreo. En Malí, el programa de ACF usó imágenes satélite y sistemas de información geográfica (SIG), como herramientas para la toma de decisiones en la ubicación de pozos minimizando el sobrepastoreo. La Figura 3.1 muestra un ejemplo de análisis SIG.

2.2.2 ÁREAS URBANAS Y PERIURBANAS

La emigración de zonas rurales a urbanas es un problema creciente, con el 50% de la población mundial viviendo actualmente en ciudades. La población urbana no deja de aumentar, con gente buscando mejorar su situación económica o, en el caso de conflictos, mejorar su seguridad. La población más vulnerable se concentra en los suburbios más pobres, donde las condiciones de vida son más precarias. Las ciudades se convierten en "crisoles" donde conviven personas de diferentes grupos étnicos, sociales, culturales y religiosos. En tan difíciles condiciones de vida pueden aparecer tensiones. Este factor debe ser prioritario a la hora de escoger la ubicación de un punto de agua y decidir sobre la gestión, para así evitar conflictos o que se impida el acceso al agua a una parte de la población.

Las redes de distribución de agua son lo más habitual en las ciudades. Debido al tamaño y la complejidad de los sistemas, la gestión suele ser responsabilidad de la municipalidad. En ocasiones, la municipalidad contrata esta responsabilidad a empresas privadas. Aunque no es el caso más habitual, resulta beneficioso si la comunidad tiene un papel formal en la gestión del sistema. Las ONG pueden abogar por ello. Asegurando que la comunidad tiene voz en la toma de decisiones, se conseguirá que la alta dirección entienda mejor las necesidades de los más desfavorecidos.

Las áreas pobres y marginales de las grandes ciudades, incluyendo zonas peri-urbanas, deben ser una preocupación de primer orden. Los servicios de distribución de agua no suelen llegar a estas

zonas por una serie de razones, incluyendo la falta de voluntad política, temas de tenencia del suelo sin resolver y falta de recursos financieros para extender la red de distribución. Además las zonas periurbanas se hallan frecuentemente fuera del término del que es responsable la municipalidad. Estas zonas suelen estar densamente pobladas y carecen de una infraestructura sanitaria adecuada. Estos factores combinados con la falta de agua crean un elevado riesgo de salud pública. Cuando la población no tiene acceso a la red oficial de suministro de agua, consigue el agua de una serie de fuentes privadas informales, tales como pozos privados (p.ej. en Monrovia, Beira, Kabul o Mogadiscio), o compran agua de aguadores que traen agua con camiones cisternas, carros tirados por animales, etc. La calidad del agua es generalmente baja y los precios altos, representando una importante cantidad para muchas familias (especialmente en períodos de escasez, cuando suben los precios). Una solución en una intervención a corto plazo puede consistir en mejorar la calidad del agua trabajando con los aguadores. En Jartum, ACF introdujo lavaderos para los carros tirados por animales en algunos distritos periféricos e hizo mejoras en los carros. ACF se involucró también en negociaciones con los aguadores para conseguir acuerdos en el precio del agua y la gestión del suministro. Sin embargo, asegurar la calidad de estos sistemas de suministro es difícil de conseguir a largo plazo y los precios se mantienen altos para una parte de la población. Incrementando marginalmente el servicio a pequeña escala no se resuelve el gran problema de la desigualdad en el acceso al sistema municipal que debería suministrar agua a toda la población.

2.2.3 SUMINISTRO DE AGUA EN EMERGENCIAS

Los desastres naturales o provocados por el hombre causan la pérdida de vidas y de oportunidades económicas, y aumentan la vulnerabilidad de los más pobres. Tanto las infraestructuras hídricas como la estructura social de una comunidad pueden verse destruidas o dañadas, afectando gravemente la gestión del agua. Las poblaciones desplazadas pueden acabar creando campos de refugiados y asentamientos temporales informales y sin servicios de ningún tipo. En consecuencia, las necesidades más básicas de la población pueden no estar atendidas y se va a requerir una respuesta de emergencia.

La respuesta ante una emergencia ha de ser rápida y efectiva. La población involucrada debe formar parte de la gestión del suministro temporal de agua (ver Sección *2.3.10*), aunque en las emergencias con desplazamiento de población, se necesite ayuda externa. El tejido social y los sistemas de apoyo de las comunidades se han trastocado, junto con sus fuentes de ingresos y alimentos. Organizar comités independientes de agua en situaciones como ésta puede que no sea la solución más apropiada. La participación de los beneficiarios se debe promover tanto como sea posible; sin embargo, es importante comprender que en algunos casos, especialmente en los primeros momentos de una crisis, es muy probable que la gente no esté preparada física o psicológicamente para participar en ninguna actividad más allá de su propia supervivencia.

Cuando la participación sea posible, las personas afectadas pueden ser involucradas en la gestión general del campo, en el caso de refugiados o desplazados, a través de la creación de Comités de Agua y Saneamiento. Estos comités pueden utilizarse para desarrollar la gestión en la fase de postemergencia, cuando la respuesta requiere más de soluciones autosuficientes. Todas las acciones deben coordinarse con las autoridades locales, aunque se hallen desbordadas y apenas puedan colaborar.

Cuando la respuesta de emergencia se centre en la rehabilitación de la infraestructura existente, la mejor opción de gestión es reforzar el sistema existente, por medio de la participación del personal responsable. Hay que prestar atención al tipo de ayuda externa proporcionada, ya que un exceso puede llevar a una dependencia que tendrá efectos negativos en las fases posteriores.

2.3 Gestión según el Tipo de Sistema de Suministro de Agua

No todos los sistemas de suministro de agua requieren el mismo nivel de gestión. Una bomba manual no tiene los mismos requisitos de gestión que una gran red de distribución urbana. Las operaciones diarias, mantenimiento y demás tipos de servicios a prestar son completamente diferentes y necesitan una estructura organizativa y recursos distintos.

Una buena calidad de la construcción es siempre un primer paso hacia la durabilidad, y es imprescindible, especialmente en aquellos casos en los que la comunidad no puede asegurar una operación y mantenimiento adecuados.

La gestión debe adaptarse al tipo y a la tecnología del sistema de suministro de agua. A continuación se presentan algunos ejemplos.

2.3.1 MANANTIALES Y ARROYOS

Los manantiales pueden captarse y protegerse en el origen, y el agua se recoge en un depósito pequeño y se suministra con grifos. Alternativamente, varios manantiales o arroyos se pueden canalizar colectivamente a pequeñas redes de suministro por gravedad.

Las operaciones rutinarias no requieren consumibles y a menudo ni siquiera un operario fijo. El mantenimiento depende de la calidad de la construcción y del efecto de los daños naturales o humanos. La protección del entorno natural alrededor de la fuente es clave para mantener su producción. La deforestación del área que la rodea facilitará la erosión y la pérdida de suelo, lo que puede producir el deterioro de la obra de captación construida.

– Tareas de gestión: el principal cometido será la protección de la fuente contra la erosión y la contaminación, mediante la limpieza regular y la protección de la vegetación en el área de captación. Será necesaria la reparación básica de las estructuras construidas, aunque no con regularidad.

– Recuperación de costes: las operaciones rutinarias no originan necesariamente costes. A menudo, la limpieza y las reparaciones básicas se pueden llevar a cabo mediante el trabajo voluntario de la comunidad.

– Actores involucrados en la gestión y la formación: se requieren pocas personas para la operación y mantenimiento del suministro de agua: a veces basta con una persona. La formación debe centrarse en la limpieza y la protección de la fuente de agua.

2.3.2 POZOS SIN PROTEGER

– Los requisitos de operación y mantenimiento son pocos. La operación no requiere consumibles, y las reparaciones se llevan a cabo generalmente con materiales locales.

– Tareas de gestión: la tarea principal consiste en mantener limpia el agua y hacer un uso adecuado del pozo. El mantenimiento del sistema de extracción del agua es lo principal (cuerdas, poleas, etc.). Además, la desinfección periódica es necesaria para mantener limpia el agua, y esto puede ser organizado por la comunidad. Eventualmente pueden requerirse algunas reparaciones básicas de la construcción.

– Recuperación de costes: las operaciones diarias no generan coste alguno, a no ser que se pague a alguien para que extraiga el agua. La limpieza y las reparaciones básicas se pueden realizar con trabajo voluntario de la comunidad y no requieren un sistema de regular de pagos.

– Actores involucrados en la gestión y la formación: La gestión directa no requiere mucha gente, incluso una persona puede ser suficiente. La formación se centrará en la limpieza del pozo y la protección del agua.

2.3.3 BOMBAS MANUALES

– Las necesidades para su operación son bajas ya que no requieren consumibles y, dependiendo de las bombas, el mantenimiento puede requerir entre media y escasa atención. Las bombas manuales de bajo coste son relativamente fáciles de reparar y el coste de la reparación es bajo, aunque las reparaciones puedan ser frecuentes. La reparación de las bombas puede requerir herramientas, repuestos y conocimientos específicos. Es importante asegurarse de que las piezas de recambio van a estar disponibles. Si hay un tipo estándar de bomba en la región, es conveniente escoger esta tecnología porque los repuestos y técnicos especializados se podrán encontrar con facilidad.

– Tareas de gestión: los aspectos principales son asegurar el uso correcto de la bomba y su engrase para que funcione adecuadamente; procurar que la superficie de protección y drenaje estén limpios y tengan un mantenimiento adecuado; prevenir y reparar daños reponiendo las piezas gastadas o rotas de

la bomba. Se pueden necesitar reparaciones básicas del pozo en sí o de la superficie de protección, pero no de forma regular. El pozo o el pozo perforado también requerirán limpieza.

– Recuperación de costes: la operación tendrá un coste si hay una persona responsable de bombear el agua. La comunidad debe pagar el coste de los repuestos y reparaciones bien con pagos regulares (según el agua extraída o por mensualidades fijas) o recogiendo fondos cuando surja la necesidad. Hay costes regulares de mantenimiento al reponerse piezas regularmente. Es recomendable que la comunidad o el propietario disponga de los medios necesarios para la adquisición de una bomba nueva cuando sea necesario remplazarla. Las bombas tienen precios que van desde 100€ a 3000€. El coste de los repuestos es también varía considerablemente, dependiendo del tipo de bomba.

– Actores involucrados en la gestión y la formación:

- cuidador (privado, o alguien escogido por el gobierno o la comunidad): formación centrada en el uso adecuado, mantenimiento básico y recuperación de costes;
- personal de reparación y mantenimiento (p.ej. mecánicos de bombas manuales): formación en mantenimiento y reparación. Se acuerda el coste con la comunidad;
- suministradores de repuestos: asegurarán la disponibilidad de repuestos y la regulación de los precios (de acuerdo con la comunidad y los mecánicos). Proporcionarán información de los precios.

2.3.4 BOMBAS EÓLICAS (AEROBOMBAS)

– Los requisitos de gestión son similares a los de las bombas manuales y no se necesitan operadores. El mantenimiento y la reparación pueden ser algo más difíciles que los de las bombas manuales y dependen del régimen local de vientos. Si no son muy regulares, el mecanismo de la aerobomba puede sufrir un mayor desgaste y hasta daños, con lo que van a requerir más mantenimiento. En algunos períodos del año el viento puede no ser adecuado e interrumpirse el suministro de agua. Esto puede llevar a que la comunidad pierda interés en mantener el sistema. Los precios, según modelos, son generalmente superiores a los de las bombas manuales.

2.3.5 BOMBAS MOTORIZADAS/ELÉCTRICAS

– Las operaciones requieren personal especializado y consumibles, como combustible o electricidad. El mantenimiento requiere una cierta especialización eléctrica y mecánica, por lo que el responsable de las reparaciones debe ser una persona cualificada. Los repuestos puede que no se encuentren fácilmente y este factor debe tenerse en cuenta al escoger el equipo de bombeo.

– Tareas de gestión:

- control de las horas de operación diaria (el número de horas depende del sistema) para evitar el sobrecalentamiento de la bomba y del generador y evitar la sobreexplotación del acuífero;
- asegurar que el sistema eléctrico funciona correctamente;

– gestión de consumibles (compra, almacenamiento y uso adecuado) y mantenimiento periódico (aceite, filtros, etc.);

- gestión del sistema de pagos;
- reparación de las roturas.

– Recuperación de costes: el sistema se organizará mejor con pagos regulares (según consumos, por conexión o mediante pagos periódicos). El coste total debe incluir la operación y el mantenimiento. Ver Sección 3.7.

– Actores involucrados en la gestión y la formación:

- propietario privado o comité: gestión general, formación centrada en la recuperación de costes;
- cuidador: formación orientada a la operación y mantenimiento básico;
- mecánico: formación en reparaciones mecánicas y eléctricas;
- suministradores de piezas de repuesto.

2.3.6 SISTEMAS DE BOMBEO SOLAR

– La operación es automática y no requiere consumibles. La mayoría de los trabajos de mantenimiento son sencillos, pero algunas reparaciones precisarán de un grado elevado de especialización. Será necesaria la presencia de una empresa especializada en energía solar en la zona, que pueda garantizar las reparaciones. La bomba en sí requerirá el mismo mantenimiento que el de un sistema motorizado normal.

Tareas de gestión:

- mantener limpios y seguros el sistema y los paneles solares;
- asegurar que el sistema eléctrico funciona correctamente;
- gestionar el sistema de pagos. Como el sistema no tiene consumibles, la población tiende a rechazar los pagos regulares;
- reparar las averías, generalmente mediante una empresa especializada.

– Recuperación de costes: se recomienda que el sistema se base en pagos regulares (por consumo, por conexión o mediante pagos periódicos), ya que las reparaciones tienen costes significativos. La promoción de este sistema de pagos es importante porque la población no es consciente de los costes potenciales al ver que no hay compras regulares de consumibles. La recuperación de costes puede ser difícil para un sistema solar porque funciona aparentemente con costes bajos. Sin embargo, al coste de las reparaciones ocasionales se suman los salarios del personal de operación y las amortizaciones, y no se pueden reunir las cantidades necesarias en un corto espacio de tiempo.

– Actores involucrados en la gestión y la formación:

- propietario particular o comité para la gestión general y recuperación de costes;
- cuidador: formación en operación y mantenimiento básico;
- empresa u organización especializada a cargo de las reparaciones.

2.3.7 RECOGIDA DE AGUA DE LLUVIA CON DEPÓSITOS DOMÉSTICOS O COMUNITARIOS

– Los sistemas de recogida de agua de lluvia recogen agua de los tejados de los edificios y otras áreas de captación. Se instalan a menudo a nivel de edificio, recogiendo agua de casas o edificios públicos como escuelas u hospitales. Es difícil mantener la calidad del agua de lluvia, por lo que su aplicación es para usos distintos del consumo humano, siempre que exista un suministro alternativo fiable de agua potable.

– Las operaciones no requieren consumibles, y el mantenimiento se puede realizar con materiales locales.

– Tareas de gestión: la principal preocupación es mantener limpia el agua, cuidando la limpieza del tejado, los canalones y el depósito. También es importante usar adecuadamente el sistema. En algunos casos, se puede añadir un pretratamiento en forma de tanque de sedimentación o filtro de arena. Este añadido requiere una atención especial para su mantenimiento. Se requerirán también reparaciones básicas en el tejado, canalones de desagüe, depósito y grifos, pero no de forma regular.

– Recuperación de costes: la operación normal no tiene costes y los de mantenimiento son bajos si el sistema está bien construido.

– Responsabilidad de la gestión: generalmente son los propietarios particulares o el personal de las instituciones (escuelas, hospitales, etc.).

2.3.8 RECOGIDA DE AGUA DE LLUVIA CON DEPÓSITOS DE SUPERFICIE (ESTANQUES)

Hay dos situaciones básicas adecuadas para la construcción de estanques. La primera es en lugares secos con precipitaciones cortas y abundantes. Los estanques se construyen para recoger las escorrentías y se usan únicamente en ciertos períodos del año. Este tipo de recogida de escorrentías es habitual en contextos de pastoreo y se usan principalmente para abrevar ganado. La segunda situación corresponde a zonas con lluvias abundantes en las que los estanques recogen directamente el agua que llueve, sin escorrentías (impluvium). Estos sistemas son una fuente de agua de enorme valor en lugares donde los manantiales y otras fuentes de agua subterránea escasean. Ver Capítulo VIII.

– La operación y el mantenimiento no son complicados pero requieren un nivel elevado de participación comunitaria para mantener operativo el sistema de escorrentía (si lo hay) y el estanque, evitar pérdidas y asegurar la protección contra la contaminación. En los sistemas de escorrentía, es

difícil asegurar la calidad del agua. La mayor parte de los esfuerzos se dirigen a asegurar que habrá agua disponible durante los períodos de sequía.

– Tareas de la gestión:

• mantenimiento del sistema de escorrentía, vallas y otras proteciones para mantener a los animales alejados del estanque;

• limpieza y reparación del estanque, en algunos casos se recubren con ramas para minimizar la evaporación;

• mantenimiento de los sistemas de extracción del agua, tales como canales o muelles de acceso, o bombas en ocasiones; mantenimiento de las zanjas de filtración.

– Recuperación de costes: la limpieza y las reparaciones básicas se pueden llevar a cabo con trabajo voluntario de la comunidad, y puede que se necesite proporcionar herramientas. La reparación de estanques grandes puede ser cara si se requiere el uso de maquinaria o grandes cantidades de cemento. Excepto en sistemas privados, el pago periódico es complicado y será difícil establecer un sistema de recuperación de costes. Como las reparaciones de coste elevado van a ser difíciles de afrontar por la comunidad, es importante asegurar mantenimiento periódico a cargo de la comunidad.

– Responsabilidad de la gestión: tanto si el suministro es privado como comunitario, hace falta mano de obra para el mantenimiento.

2.3.9 SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA

– Un sistema de tratamiento y distribución de agua requiere la gestión conjunta de todos los sistemas que lo componen desde la captación (pozo perforado, manantial, río, etc.), sistema de bombeo (si lo hay), tratamiento, almacenamiento, tuberías y puntos de distribución. El sistema es más complejo que un simple punto de agua individual y requiere, por tanto, un mayor nivel de gestión. La complejidad de la gestión y los conocimientos necesarios dependen del tamaño del sistema y de la tecnología seleccionada.

– Es preciso definir claramente las operaciones, mantenimiento y políticas de recuperación de costes. La participación de todos los actores implicados en la gestión y uso del sistema (especialmente los representantes de la comunidad) es necesaria para tener un suministro equitativo.

– Si hay también un sistema de alcantarillado, su gestión se debe coordinar con la del suministro de agua.

– Antes de planificar el diseño de una sola red para el suministro de agua a varias comunidades, entre las que puede haber riesgo de conflictos sobre la gestión del suministro (hay varios ejemplos en los que una comunidad ha saboteado el sistema para evitar que el agua llegue a otra comunidad) es mejor construir sistemas separados o tomar medidas para reducir los riesgos (instalar tuberías distintas en algunos tramos, etc.).

– Las tareas principales son:

• control del suministro (horas y cantidad);

• tratamiento del agua (si se necesita): consumibles, proceso, mantenimiento;

• mantenimiento y reparación del sistema de suministro: obra civil, tuberías, control de fugas;

• control de la calidad del agua;

• sistema de pagos (contribuciones);

• coordinación de los actores involucrados y participación de la comunidad en la gestión del sistema.

– Recuperación de los costes: los costes totales recuperados han de incluir todos los gastos de operación y mantenimiento. Ver Sección 3.7.

– Actores involucrados en la gestión:

• personal de operación y mantenimiento, normalmente contratado, que recibe un salario mensual;

• personal para el cobro de las contribuciones;

• comité de gestión, con representantes de la comunidad, autoridades públicas y, en ocasiones, empresas privadas. Si el sistema es pequeño, algunos miembros del comité pueden también ser los encargados del mantenimiento;

• suministradores de piezas de repuesto.

2.3.10 SITUACIONES DE EMERGENCIA

La prioridad en casos de emergencia es garantizar una cantidad mínima de agua segura. Las técnicas comúnmente utilizadas en emergencias son el tratamiento de agua (ver Capítulo VI) y el suministro con camiones cisternas (ver Capítulo XXI). Ambas actividades requieren una organización significativa, con materiales y equipos de tratamiento y distribución específicos para emergencias.

Sistemas de suministro de agua en emergencias:

– Operación y mantenimiento del suministro de agua en emergencias: bombas motorizadas, mangueras flexibles, tanques transportables, etc. (para más detalles en equipos de emergencia ver Capítulo XXI).

– Tratamiento y control de calidad del agua: si se requiere, procesos de floculación y cloración, seguimiento de la calidad del agua (turbidez, aluminio residual si se usa sulfato de aluminio, y cloro residual).

– Seguimiento del consumo y asegurar una distribución equitativa. Esto es necesario y puede resultar difícil debido a la escasez de agua. La concienciación de los usuarios es fundamental, pero aun así pueden surgir conflictos dentro de la comunidad (o entre varias comunidades). Se pueden tomar medidas para evitar estas situaciones, como la instalación de grifos Talbot para ahorrar agua, y controlar la cantidad de agua suministrada a cada familia con métodos como la distribución de tickets o el registro de recipientes.

Camiones cisterna:

– Suministrar agua en camiones cisternas a una población requiere una organización muy particular. El agua debería descargarse en depósitos de agua situados en puntos céntricos, en vez de suministrarse directamente a la población.

– El agua se distribuye por medio de instalaciones ubicadas y construidas para tal efecto, como tanques equipados con grifos. El agua se clora y su calidad se controla. Se debe involucrar a la comunidad en la preparación e instalación de los sistemas, incluyendo actividades como la construcción de la plataforma del tanque, la preparación de la superficie para el pedestal de los grifos y el control de la distribución. Se puede establecer un comité dentro de la comunidad para que sea responsable de la cloración del agua (a cargo de una o dos personas) y de la distribución (una o dos personas).

– Gestión general del sistema: los actores principales son el conductor del camión cisterna, las comunidades y las autoridades. Las tareas principales son:

• informar a la comunidad y a los demás actores involucrados del sistema que se propone, y obtener sus acuerdos;

• organizar el transporte, incluyendo la organización de un horario de movimientos de los camiones, vigilando el pago a los conductores, alquilando camiones, limpiando las cisternas y asegurando el mantenimiento de los camiones;

• establecer un comité responsable de los puntos de distribución de emergencia, e involucrar a la comunidad en la construcción, control del suministro, cloración (puede necesitarse la capacitación del personal) y control de la calidad del agua (cloro libre residual). Si la participación de la comunidad se presenta difícil, puede que se necesite pagar salarios;

• las autoridades deben estar presentes en la supervisión del sistema.

3 GESTIÓN BASADA EN LA COMUNIDAD

La participación de la comunidad es importante en cualquier sistema de gestión. No obstante, en los casos de sistemas de suministro pequeños es la máxima prioridad, especialmente en áreas rurales y peri-urbanas de países en vías de desarrollo y zonas vulnerables afectadas por conflictos o desastres.

Cuando las autoridades carecen de capacidad para gestionar un sistema de suministro de agua, una infraestructura gestionada por la comunidad es la mejor opción para asegurar la durabilidad.

3.1 Cómo funciona

En la gestión comunitaria, la comunidad es la responsable del sistema de abastecimiento de agua. La gestión del agua requiere que estén disponibles dentro de la comunidad los conocimientos técnicos, la mano de obra y los fondos necesarios.

La Figura 3.2 muestra los actores involucrados y la relación entre ellos.

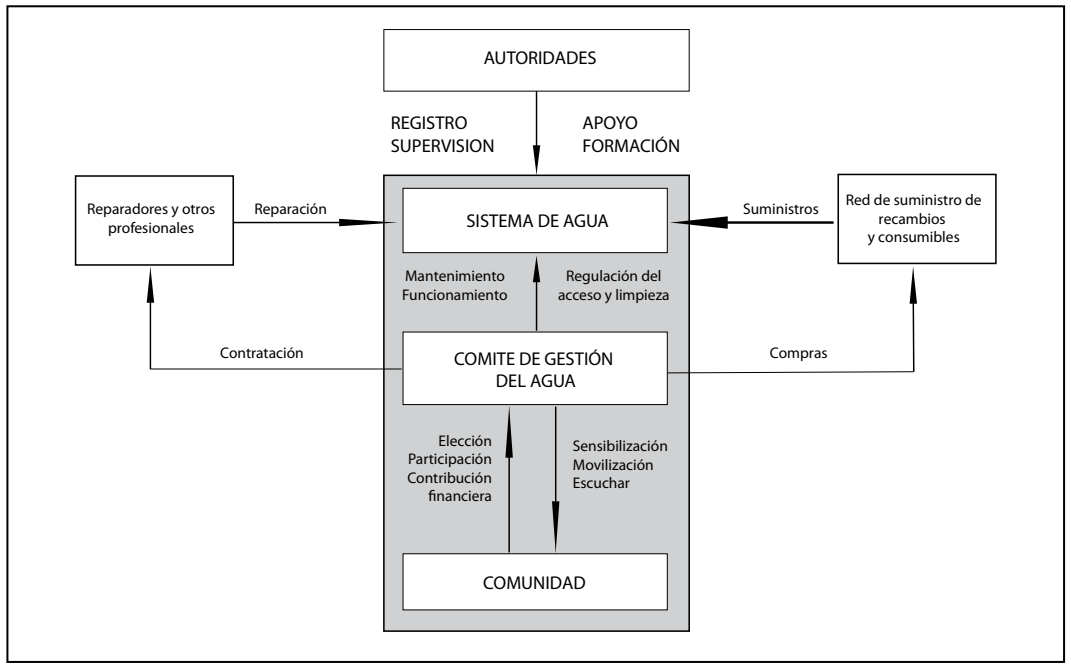


Figura 3.2: Los actores y las actividades de un suministro de agua gestionado por la comunidad.

Las políticas y normativas deben ser claras en la definición del papel que desempeñan los diferentes actores que intervienen en la gestión, y han de garantizar todos los aportes necesarios para mantener operativo el sistema:

– El comité de agua es un grupo de personas elegido por la comunidad, responsable de la gestión directa del sistema (limpieza, mantenimiento, reparaciones menores, operación, etc.), incluyendo el cobro de las cantidades necesarias para la operación y el mantenimiento. La relación entre el comité y el resto de la comunidad ha de ser clara y transparente. El comité organiza y moviliza a la gente para colaborar, contribuir y respetar las reglas para el uso correcto del sistema de abastecimiento de agua.

– Los comités de agua son responsables de la contratación de técnicos y otros profesionales para la reparación del sistema en caso de avería. El precio y las condiciones de estos servicios se han de acordar entre los comités de agua y los mecánicos y dependerán del tipo de trabajo requerido. Los programas se centran en la selección de los mecánicos, su formación y el fortalecimiento de sus capacidades.

– La disponibilidad de repuestos se debe garantizar con las estructuras y/o distribuidores locales. El acceso a los mercados y suministros se debe organizar de modo que el comité de agua esté involucrado en el mismo.

– Las autoridades locales deben jugar un papel de supervisión apoyando el sistema e involucrándose en la definición de normas. Es útil que promuevan el establecimiento de nuevas organizaciones o negocios si éstos son necesarios (p.ej. comités de agua, mecánicos, distribuidores de repuestos). Los comités de agua han de ser reconocidos en sus funciones por las autoridades y ha de establecerse una relación sólida de trabajo entre ellos. Las autoridades locales pueden ser una fuente de adiestramiento para los comités de agua y deben jugar un papel activo para asegurar la continuidad de los comités. Este papel lo puede desempeñar inicialmente la agencia implementadora, pero lo deberá ceder a las autoridades locales al final del programa.

3.2 El comité de agua

El comité de agua es el grupo de personas elegido por y entre los usuarios del sistema de abastecimiento de agua, y actuará en su nombre para organizar la gestión del servicio en una comunidad.

No hay reglas fijas sobre la forma de organizar el comité, cuánta gente lo compone y otros asuntos de esta índole. El comité debe constituirse de la forma más adecuada en cada contexto concreto y dentro de las estructuras existentes (a veces existe ya un comité de agua cuando empieza el proyecto). No obstante, el modelo indicado más abajo ha servido de ejemplo para la constitución de comités en muchas comunidades en las que ACF ha desarrollado sus proyectos.

3.2.1 FUNCIONES DEL COMITÉ DE AGUA

Las tareas principales del comité de agua son:

– Garantizar el acceso equitativo al agua de la comunidad entera.

– Recoger los pagos de los usuarios y hacer un uso transparente de los fondos.

– Mantenimiento diario (compra de consumibles, arranque/paro de la bomba, apertura/cierre de válvulas, cloración, etc.) y reparación del sistema en caso de pequeñas averías.

– Organizar la limpieza del sistema de abastecimiento y sus alrededores por medio de la comunidad de usuarios.

– Comprar repuestos o herramientas según las necesidades.

– Contratar profesionales para la reparación del sistema en casos de averías mayores.

– Formar a la comunidad en la promoción del uso correcto del suministro de agua y los hábitos higiénicos.

– Coordinar con, e informar a, las autoridades locales y cualquier otra agencia involucrada.

Estas tareas han de llevarse a cabo siguiendo unas reglas básicas:

– Todos los miembros deben ser voluntarios, elegidos por la comunidad.

– Deben trabajar para el interés general de la comunidad.

– Es importante tener suficiente representación de diferentes intereses en el comité, incluyendo una representación proporcional adecuada de hombres y mujeres.

– El comité debe informar regularmente al resto de la comunidad y a las autoridades locales sobre sus actividades y finanzas.

3.2.2 COMPONENTES DEL COMITÉ

3.2.2.1 PRESIDENTE

El presidente es el facilitador y coordinador del grupo. Con su autoridad, facilita el proceso de toma de decisiones y es responsable de que el comité funcione. Asegura también las relaciones entre los miembros del comité y organiza reuniones periódicas con la población. Un buen presidente debe:

– estar motivado;

– saber leer y escribir;

– estar disponible con facilidad: es preferible que viva en la aldea para llevar a cabo su labor;

– ser respetado e infundir confianza a la comunidad.

Las funciones principales son:

– organizar reuniones regulares con los otros miembros del comité para explicar lo que se ha hecho y discutir los problemas encontrados;

– tomar decisiones en consenso con los miembros del comité;

– mediar entre la población y otros actores involucrados;
– movilizar a la población alrededor del sistema de abastecimiento de agua, sensibilizando a la gente sobre la importancia de un uso y mantenimiento adecuados del sistema;
– ayudar a los otros componentes del comité en sus tareas;
– recoger información sobre la comunidad pertinente;
– regular el uso del agua siguiendo reglas básicas.

3.2.2.2 TÉCNICO

El técnico es el responsable de la operación y mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua. La población debe ayudar al técnico en el desarrollo de las actividades necesarias. Como este trabajo es estrictamente técnico, su actividad dependerá del tipo de suministro de agua utilizado. La Tabla 3.II recoge las posibles tareas de un técnico de mantenimiento de una bomba manual y de una red pequeña de distribución por gravedad.

Tabla 3.II: Cometido del Técnico.

RED DE DISTRIBUCIÓN POR GRAVEDAD	BOMBA MANUAL
Limpieza regular de la captación y de los depósitos	Revisión de la bomba: cilindro, pistón, juntas, varilla elevadora, etc.
Manejo de las válvulas	Reemplazar las piezas desgastadas
Revisión de las tuberías	Reparar averías simples
Reparar fugas	Informar del estado de la bomba a los demás componentes del comité
Hacer conexiones nuevas cuando las autorice el presidente	
Informar del estado del sistema a los demás componentes del comité	

3.2.2.3 TESORERO

El tesorero es responsable de la recogida de las cuotas pagadas por los usuarios y de gestionar el presupuesto del comité. Es un puesto clave y es importante que su trabajo sea transparente para que la comunidad confíe en él. El tesorero es responsable de:
– recoger los pagos de los usuarios;
– la administración de las cuentas;
– la compra de los materiales necesarios para el mantenimiento y operación;
– mantener al día el libro de cuentas;

Para poder cumplir con su cometido, el tesorero debe saber leer, escribir y hacer cuentas sin dificultad. Debe ser también una persona organizada, fiable y honesta. Es mejor que viva en la misma aldea, y así estar disponible con facilidad para los miembros de la comunidad. En algunos países, este trabajo lo realizan mejor las mujeres que los hombres, ya que se les considera más fiables para guardar el dinero.

El dinero, documentos y libros han de guardarse en un lugar seguro. Puede que sea posible abrir una cuenta bancaria o tener acceso a un sitio seguro en la administración local para mayor seguridad. Es mejor tener un almacén de piezas de repuesto que guardar el dinero en metálico.

Cobro de cuotas

Para el seguimiento del pago de las cuotas por parte de los usuarios, el tesorero debe guardar una hoja de registro por familia, con su nombre, el número de personas y un apunte por cada pago mensual. El tesorero debe llevar también un libro de balance y empezar una página nueva cada mes, tal como se indica en la Tabla 3.III

Tabla 3.III: Ejemplo de un libro de cuentas.

FECHA	TIPO DE OPERACIÓN	INGRESO	GASTO	SALDO	FIRMA
01/02/04	Saldo al final de enero			22 000	
05/02/04	Cobros totales del mes	6 000		28 000	
13/02/04	Compra de un pistón nuevo		3 600	24 400	
20/02/04	Construcción de la valla		1 200	23 200	
01/03/04	Saldo al final de febrero			23 200	

Al final de cada mes, se debe cerrar la hoja de cuentas y se debe comprobar que la cantidad de dinero que hay en caja coincide exactamente con el saldo que muestra el libro de cuentas.

ACF suministra un libro, calculadora y material de oficina a los tesoreros del comité al final de su formación.

Control de compras

La decisión de hacer una compra significativa se debe tomar conjuntamente por todos los miembros del comité. Se debe informar también a la población de estas compras. El comité debe mantener siempre una reserva de dinero para afrontar problemas imprevistos.

Una compra ha de estar siempre justificada con un recibo, en el que se debe escribir:
- fecha de la compra;
- detalle de lo que se ha comprado;
- cantidad de dinero gastada;
- nombre y firma del comprador y del vendedor;
- los recibos se deben guardar en lugar seguro y clasificarse por orden cronológico.

Todos los usuarios tienen el derecho de examinar los gastos y verificar las cuentas. El tesorero debe rendir cuentas mensuales al comité y a la comunidad.

Informe mensual

Una vez cerradas las cuentas del mes, el tesorero debe hacer un informe detallado de los gastos e ingresos, y del dinero que hay en caja. La Tabla 3.IV muestra un ejemplo tomado en Timor del Este.

Tabla 3.IV: Ejemplo de un informe mensual de cuentas. Salau, Timor del Este.

TIPO DE OPERACIÓN		JULIO 2001
Saldo a final de junio	+	5.00$
Cobro cuotas de julio, 75 familias	+	7.50$
Gastos de julio		
– 1 grifo para la fuente N°13	–	0.80$
– 1 cepillo de alambre	–	0.90$
Saldo a final de julio	=	10.80$

3.2.2.4 PROMOTOR DE HIGIENE

El promotor de la higiene es responsable de la limpieza del punto de agua y del entorno alrededor del mismo. Informa y educa a la población en la práctica higiénica adecuada para evitar las enfermedades relacionadas con el agua. Su cometido es similar al indicado para el impulsor de la higiene comunitaria que se indica en el Capítulo XX.

3.2.2.5 ENCARGADO DE REFORESTACIÓN

En los sistemas gravitatorios, la conservación del arbolado y la vegetación alrededor del manantial es importante para mantener el rendimiento de la fuente de agua. Por tanto, será útil que el comité incluya una persona responsable de la protección del arbolado del entorno y de plantar árboles allí donde la deforestación sea un problema. Esta persona debe tener formación en temas forestales, agrícolas y medioambientales.

3.3 Técnico de reparaciones

Estos técnicos (fontaneros, mecánicos, albañiles, etc.) deben tener formación en mantenimiento y disponer de herramientas y otros recursos (p.ej. bicicletas para el desplazamiento) para reparar el sistema cuando el trabajo a realizar exceda la capacidad del técnico del comité. A estas personas se les paga por el trabajo realizado. Se deben establecer tarifas fijas para el tipo de trabajos que se puedan prever. Estas tarifas pueden servir de guía también para los trabajos imprevistos. El contrato entre la comunidad y el técnico debe ser claro y estar a disposición de todos los usuarios.

La demanda en el área cubierta por el técnico debe ser la suficiente para asegurar su trabajo. Un análisis detallado de la ubicación de los sistemas, del tipo y la frecuencia esperada de las averías, de las tarifas de reparación y de las posibilidades de desplazamiento del técnico, es útil para delimitar sus zonas de actuación y así realizar la previsión de los técnicos necesarios.

Los principales puntos a considerar para la selección y formación de los técnicos de reparación se resumen a continuación.

Selección

- Profesionales existentes interesados en el puesto.
- Personas que ya residen un largo tiempo en la zona.
- Destreza técnica.
- La zona no la cubren otros técnicos.
- Atención especial a contratar mujeres cuando sea posible.

Formación

- Identificación de repuestos y conocimiento de la mecánica del sistema.
- Detección de problemas y reparaciones.
- Mantenimiento del sistema.
- Contactos y contratos con los comités de agua.
- Informes de reparaciones.
- Política de gestión de las herramientas y repuestos.

3.4 Red de almacenes de repuestos

El suministro de piezas de recambio puede ser realizado por el gobierno o por las ONG, pero esta solución no es sostenible a largo plazo. La opción más sostenible consiste en involucrar a los comerciantes minoristas locales, que venderán repuestos a los comités de agua o a los técnicos de reparación según las necesidades. Los comerciantes colaborarán si ven una oportunidad de beneficio, por lo que es muy importante crear una demanda de repuestos para que el sistema funcione (sensibilización de la comunidad para que realice un mantenimiento adecuado del sistema de abastecimiento y lo repare al primer signo de fallo). La preocupación principal de los vendedores es la posibilidad de perder dinero. Por ejemplo, algunos programas en Mozambique y Uganda del Norte han apoyado este sector con préstamos de repuestos sobre la base de venderlos o devolverlos para minimizar el riesgo hasta que se establezca una demanda regular. El precio de los repuestos considera el coste, el transporte y el beneficio de los distribuidores. Las comunidades deben tener información de dónde hay disponibilidad de repuestos.

Formación de los proveedores

- Identificación de los repuestos.
- Procedimientos de almacenamiento y gestión de existencias (registros de existencias, etc.).
- Precios de venta y beneficio comercial.
- Reposición de existencias.

3.5 Autoridades Locales

Las autoridades locales serán las responsables a largo plazo del apoyo a todo el sistema de gestión. Si una ONG lleva a cabo esta misión durante algún tiempo, las autoridades locales deben estar implicadas desde el principio, de forma que estén preparadas cuando se les transfieran las responsabilidades.

Funciones de las autoridades locales en la gestión del agua por parte de las comunidades

- Regulación y normativa sobre la gestión llevada a cabo por las comunidades.
- Coordinación con otros actores involucrados (otras agencias, empresas privadas, etc.).
- Movilización de las comunidades y constitución de comités de agua. Cuando las autoridades locales no tengan capacidad para hacerlo, puede realizarlo una agencia externa.
- Registro legal del comité y del sistema de abastecimiento de agua, así como la gestión de una base de datos con toda la información relativa a las infraestructuras hídricas, comunidades, etc.
- Seguimiento y formación de los comités de agua.
- Seguimiento y formación de los técnicos de reparación. Suministro y renovación de herramientas.
- Coordinación entre los actores principales: comités de agua, técnicos de reparación y proveedores de piezas de repuesto.
- Acuerdos de precios para trabajos y repuestos.
- Reparación de averías graves: en algunos países el gobierno asume la responsabilidad de reparar el sistema de abastecimiento de agua si el coste no puede soportarlo la comunidad.

3.6 Lanzamiento de un Sistema de Gestión Comunitario

Los programas se han de centrar en la organización de la comunidad para poner en marcha un sistema de gestión. El primer paso es la movilización de la comunidad para definir el sistema de gestión. Las comunidades se han de involucrar desde el comienzo del proyecto (identificación de las necesidades) hasta el final (cuando han de gestionar de forma independiente).

3.6.1 EVALUACIÓN DE NECESIDADES

Tal y como se indicó en el Capítulo XX, la participación de la comunidad y el uso de técnicas participativas durante la evaluación de las necesidades es un punto clave para conseguir sistemas sostenibles. Se deben considerar los puntos siguientes para definir un plan de actuación para el establecimiento de un sistema de gestión efectivo para el suministro de agua:

– Necesidades primarias y demandas de la comunidad.

– Estructura social, quién gestiona los recursos hídricos en la actualidad, y quién lo hará cuando se rehabilite o se construya un sistema nuevo. Explorar posibles conflictos.

– Situación económica de las familias (por ejemplo, su capacidad para pagar los costes de mantenimiento del sistema).

– Estructuras de pago existentes ahora y/o voluntad por parte de la gente de pagar por el agua.

– Motivación y capacidad por parte de la población de aportar trabajo o dinero para la construcción, operación y mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua.

– Tipo de gestión actual de su sistema de suministro de agua.

– Grupos existentes cuyas actividades están relacionadas con la salud, el agua y el medio ambiente (personal sanitario, comités de agua, etc.).

– Tipos de materiales y equipos usados normalmente en la región para el suministro de agua (tipos de bombas, tuberías, etc.).

– Disponibilidad de piezas de repuesto a nivel local.

– Capacidad técnica de las personas: disponibilidad de personal especializado para el mantenimiento y reparación del sistema de abastecimiento de agua, o con posibilidad de aprender con la formación adecuada.

Un estudio participativo de base permite identificar y priorizar las necesidades de la comunidad. Tras ello, se organiza una reunión con los integrantes de la comunidad. Haciendo uso de una técnica de estudio participativo rural (*Participatory Rural Appraisal*, *PRA*), se discuten con la comunidad sobre los diferentes problemas encontrados (disponibilidad de agua, distancia a la fuente de agua, enfermedades básicas y sus causas, etc.) y las posibles soluciones. En estos momentos, se hacen ya algunas sugerencias para la solución de los problemas, explicando cómo ayudar a la comunidad a alcanzar los objetivos propuestos.

3.6.2 ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN Y ACUERDOS CON LAS COMUNIDADES

Una vez identificadas las necesidades y los recursos, es necesario definir la participación de la comunidad en la implementación y gestión del sistema. Se firma un acuerdo que incluye las principales reglas y normas entre ACF y la comunidad. Las autoridades locales son testigos de todos los acuerdos relativos al proyecto.

Luego, ACF y la comunidad discuten la forma de llevar a cabo el trabajo y cómo se gestionará el sistema. El modelo de ACF (como se describió anteriormente) se puede proponer y adaptar al caso de la comunidad en concreto. La comunidad desarrollará su modelo, elegirá a los integrantes del comité y organizará el sistema de gestión en relación con sus necesidades y perspectivas.

Las reuniones regulares con la comunidad sobre el desarrollo del proyecto permitirán identificar fácilmente los problemas que surjan a lo largo de la puesta en marcha, y constituirán una estructura de cooperación para encontrar soluciones.

La participación de todos los miembros de la comunidad en el proceso de implementación puede inculcar un sentimiento de propiedad, lo que representa un factor básico en la gestión sostenible del sistema.

3.6.3 CONSTITUCIÓN Y ELECCIÓN DEL COMITÉ DEL AGUA

En las reuniones iniciales con la comunidad, sus integrantes suelen mencionar algún problema con el mantenimiento del punto de agua. Se presenta y discute entonces la idea de un comité para gestionar el suministro de agua como una solución al problema. La comunidad entonces decide en la serie de criterios de selección que ayudará a la gente a elegir a las personas más fiables y trabajadoras para el comité. El género de los candidatos también se discute, ya que ambos, hombres y mujeres, deben formar parte del comité, considerando que las mujeres pueden tener un papel más importante en la recogida y gestión del agua. Una vez se llega a un acuerdo sobre los puntos más relevantes, se fija una fecha para la elección del comité.

Otro concepto a introducir es un sistema de elecciones periódicas que garantice la posibilidad de rotación de los miembros del comité. Vale la pena considerar que, a veces, el sistema de gestión no funciona a causa de algunas personas, más que por el sistema en sí.

3.6.4 PARTICIPACIÓN COMUNITARIA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

Como la instalación de suministro de agua pertenecerá a los usuarios, éstos deberán contribuir a la construcción suministrando trabajo y materiales disponibles localmente, o pagando por parte de las actividades implementadas.

Por medio del comité y el jefe de la aldea (o cualquier otro líder apropiado), la comunidad organiza la distribución del trabajo necesario para la construcción. Algunos ejemplos son:

– Excavación de pozos: esta actividad se lleva a cabo por trabajadores de la comunidad supervisados por técnicos de ACF. En el acuerdo entre la comunidad y ACF, el jefe de la aldea se compromete a suministrar de 2 a 4 operarios por día, generalmente hombres, para este trabajo.

– Perforación del pozo: miembros de la comunidad despejan el camino hasta el lugar escogido para el pozo perforado, excavan las balsas de sedimentación y ayudan a descargar los materiales del camión. No participan directamente en los trabajos de perforación, que se llevan a cabo por el equipo de perforación de ACF.

– Tendido de tuberías: una de las tareas más duras de la construcción de una red de distribución es la excavación de las zanjas para enterrar las tuberías. La longitud total de tubería a enterrar se divide por el número de participantes encargados de cavar la zanja. La instalación de las tuberías la realizan por fontaneros especializados (contratados por ACF), a menudo ayudados por miembros de la comunidad.

– Trabajos de albañilería: algunas comunidades tienen albañiles capaces de construir tanques de agua, pedestales de fuentes, aceras, etc. El trabajo del albañil es generalmente remunerado, debido al volumen y a la dificultad que implica. No obstante, la comunidad proporciona asistencia y materiales como grava, arena o agua.

Cuando se requiere un gran volumen de trabajo por parte de la comunidad, se puede considerar el pago de alguna gratificación dineraria o entrar en un acuerdo del tipo "alimentos por trabajo" (*food for work)*.

En algunos casos, como en Indonesia; ACF sólo distribuye los materiales, hace el diseño técnico y supervisa los trabajos de construcción que llevan a cabo las comunidades.

Algunas de las tareas pueden conllevar riesgos, que los miembros de la comunidad deben conocer, y la seguridad tiene que ser gestionada por representantes de la comunidad.

La contribución de la comunidad puede ser también financiera. Por ejemplo, en Bolivia, se asigna un valor económico a cada jornada de trabajo. Tras el cálculo de las horas de trabajo por persona necesarias para terminar la construcción, la gente puede contribuir con su trabajo o con dinero, o con otros recursos equivalentes. El dinero recogido se usa para pagar las horas extraordinarias, para la adquisición de herramientas, organizar actividades, o se puede guardar en caja para futuros gastos.

3.6.5 CAPACITACIÓN DEL COMITÉ

Para hacer más sostenible la gestión del sistema de abastecimiento de agua, es importante formar adecuadamente a los integrantes del comité en las funciones que van a llevar a cabo. La participación en la fase de construcción sirve ya como un pequeño curso técnico para los integrantes del comité con funciones técnicas. Los cursos de formación conjuntos para comités de varias comunidades permiten que se compartan experiencias y distintos puntos de vista, al tiempo que aumenta el prestigio de los integrantes de cada comité.

La lista que sigue es un ejemplo de un curso de cuatro días para la formación de un comité de agua, llevado a cabo por ACF en Moyo (Uganda).

– Introducción y comentarios generales.
– Expectativas, temores y cuestiones desagradables para los participantes.
– Preocupaciones de los participantes.
– Objetivos del curso (amplios y específicos).
– Composición y cometidos de los comités de agua.
– El agua (su importancia, ciclo, fuentes, usos, calidades de cada tipo de fuente, contaminación, métodos sencillos de purificación).
– Enfermedades relacionadas con el agua, prevención y control.
– La cadena para tener agua segura.
– Recomendaciones para tener una fuente de agua, y un agua de la fuente, limpias.
– Saneamiento ambiental.
– Higiene (personal, familiar, alimentación y comunitaria)
– Técnicas para la comunicación y movilización.
– Técnicas para el liderazgo.
– Cooperación y autoayuda.
– Gestión de las cuotas de los usuarios y propuesta de directivas para un suministro sostenible.
– Sistema de gestión basado en la comunidad.
– Plan de acción para los participantes.

3.6.6 TRANSFERENCIA DEL SUMINISTRO DE AGUA

Se recomienda organizar un acto oficial en el que se entregue un documento firmado por la organización implementadora, los miembros del comité, el líder de la comunidad y un representante de las autoridades públicas si fuera posible (Departamento de Agua, Ministerio de la Salud, o Autoridad Regional, etc.).

Este documento debe mencionar que el propietario del sistema de distribución de agua es la comunidad, que será la responsable del mantenimiento desde el momento de la firma. A veces, la transferencia del sistema va precedida de un período de prueba o garantía, durante el cual la comunidad utiliza y gestiona las instalaciones de forma autónoma, y así se comprueba que está preparada para ello.

También es positivo entregar un juego de herramientas (para limpieza, mantenimiento, o reparación del sistema) y piezas de repuesto a la comunidad para el comienzo de las actividades. La entrega se hace conjuntamente con la red de distribución.

3.6.7 SUPERVISIÓN Y SEGUIMIENTO

Cuadro 3.3
Principales fallos en la gestión comunitaria.

La gestión comunitaria necesita tiempo para ser independiente y hay que asegurarse que los proyectos tengan un período largo de seguimiento y apoyo. Los proyectos de corta duración deben tener esto en cuenta y han de procurar que alguna estructura local continúe el seguimiento del comité de agua. Los proyectos de corta duración deben gestionar necesidades a plazo largo en un corto espacio de tiempo. Si se viene abajo el sistema por que el comité de agua no estaba lo suficientemente preparado, la comunidad puede perder la confianza.

Los principales fallos en el sistema son:

– Las exigencias para una gestión adecuada no son alcanzables por la comunidad porque el sistema de suministro de agua seleccionado no es el apropiado (en este caso hay que cambiar el sistema).
– La comunidad desconfía del comité y deja de pagar las cuotas.
– Los miembros del comité de agua no cumplen con su cometido.
– Las cuentas no son transparentes y desaparece dinero.
– Parte de la comunidad no paga, y entonces, otros dejan de pagar porque no quieren ser de los pocos que pagan mientras que otros no lo hacen.
– No se encuentran técnicos para las reparaciones.
– No se encuentran piezas de repuesto.

Cuando aparecen estos problemas, es preciso trabajar estrechamente con la comunidad para resolverlos. Esto implica sensibilización y promoción dentro de la comunidad, haciendo énfasis en el fortalecimiento de la capacidad y actuación del comité. Sugerir el cambio de algunos integrantes del comité puede que sea apropiado en algunos casos.

El problema más difícil de resolver es la falta de colaboración de algunos usuarios. En estos casos, es importante evitar conflictos dentro de la comunidad. Los que no pagan pueden sufrir repercusiones severas, y puede que la falta de pago se deba más a problemas económicos que a una falta de cooperación. Asegurar que toda la gente vulnerable sigue teniendo acceso al agua es lo que realmente importa.

Esta es una de las etapas más importantes de un programa que aspira a apoyar la gestión comunitaria de un sistema de suministro de agua. Generalmente, se requerirán visitas y consejos con regularidad antes de que el comité sea una institución autosuficiente capaz de gestionar el sistema de forma independiente. Los asuntos a vigilar por el trabajador de campo en una visita de seguimiento son:

- estado general de limpieza de las instalaciones y sus alrededores;
- si el sistema de abastecimiento de agua está en condiciones y opera adecuadamente;
- calidad del agua;
- contabilidad: dinero recogido, gastos, dinero en caja;
- averías que hayan ocurrido, reparaciones hechas, piezas reemplazadas;
- frecuencia del mantenimiento del sistema;
- almacén de repuestos;
- frecuencia de las reuniones del comité.

Las razones más corrientes del fallo de una gestión basada en la comunidad se presentan en el Cuadro 3.3.

Se pueden organizar actividades de apoyo al comité una vez terminada la fase de construcción, que sirvan para reforzar su capacidad o su motivación. En Uganda se organizaron competiciones entre varios comités, dando puntos al estado de conservación de los sistemas, al stock de repuestos y a otros indicadores de buena gestión. El premio fue un juego de útiles de limpieza, repuestos, etc. Estas competiciones aumentaron los conocimientos y dieron la oportunidad de intercambiar ideas entre los participantes.

En algunas aldeas de Guatemala, el festival del agua se ha convertido en una fecha importante casi celebrada por todos. Música y espectáculos relacionados con el agua se representan anualmente en las aldeas y compiten en un ambiente festivo.

3.7 Recuperación de Costes

La recuperación de los costes es uno de los aspectos más difíciles en un sistema gestionado comunitariamente, ya que la gente no está dispuesta generalmente a pagar por el agua. Como los usuarios son responsables por el servicio, es importante que paguen los costes de operación y mantenimiento. Esto debe ser discutido, comprendido y aceptado por los usuarios, y quedar mencionado en el primer acuerdo firmado entre la comunidad y la organización que lleva a cabo el proyecto. Normalmente, los usuarios contribuyen periódicamente con una cantidad establecida por toda la comunidad (anual, mensual, o con cualquier otro período preestablecido – ver Sección 3.7.2). El encargado del cobro es el tesorero del comité, quien mantiene un registro completo y exacto de las cuotas ingresadas y los gastos efectuados.

Hay varias maneras de promover el pago de las cuotas al principio de un proyecto. Una es ofrecer una pequeña cantidad de dinero al comité, cuando ellos mismos hayan recogido una cierta cantidad de cuotas, como incentivo.

Un punto a tener en cuenta es que es más fácil establecer una cultura de pago en sistemas que necesitan consumibles y mantenimiento periódico, que en sistemas en los que el resultado del pago no es tan evidente, como en los sistemas solares o con bombas manuales.

3.7.1 PRINCIPIOS DE LA CONTRIBUCIÓN

La cantidad total recolectada tiene que ser suficiente para cubrir los gastos de operación y mantenimiento del sistema suministrando agua en cantidad y calidad adecuadas para los usuarios.

– En los sistemas de suministro más complejos, las tarifas pueden ser diferentes de un usuario a otro según:

- El tipo de conexión: la contribución puede ser diferente dependiendo de dónde se entrega el agua:
  - puntos de agua en lugares públicos como escuelas, hospitales, templos, municipalidades, etc.;
  - conexiones domiciliarias;
  - negocios, especialmente donde el agua es una materia prima (tarifas altas).
- El nivel de consumo de agua: medido con un contador en cada conexión, el número de cubos llenados con la bomba manual, etc.

– Excepciones: como el agua ha de ser accesible para todo el mundo, no se debe excluir a nadie por su incapacidad de afrontar los pagos por el servicio. Se pueden eximir del pago a las familias extremadamente pobres y buscar otras soluciones como realizar algún trabajo sustitutorio para compensar el coste.

– Nuevas conexiones: si se añaden nuevos usuarios a la red después de su construcción, éstos deben pagar una contribución inicial equivalente al trabajo realizado por los otros durante la construcción o rehabilitación del sistema, además del coste de la conexión.

– Si la falta de pago no se justifica, es importante que se acuerde un sistema de recurso. Se puede optar por la imposición de un recargo en la cuota o un corte de suministro hasta que se realice el pago. Este asunto se debe tratar durante la preparación de los acuerdos de gestión con la comunidad para asegurarse de que todos los impagos se tratan de igual manera y razonablemente. Si no existe un sistema de estas características, los usuarios que pagan se darán cuenta de que los que no lo hacen reciben el beneficio del agua sin contribuir a los costes, y se les acabará la motivación de seguir pagando.

3.7.2 SISTEMAS DE COBRO

No hay reglas fijas que digan cómo ni cuándo hay que pagar. Depende de varios factores como el tipo de sistema, el nivel económico de los usuarios, ciclos agrícolas, etc.

– *Contribución fija periódica:* esta forma permite reservar una cierta cantidad de dinero para pagar reparaciones que de otra forma no sería posible afrontar. Se pueden hacer en periodos regulares como meses, años, u otros como al fin de la cosecha (cuando hay dinero disponible). Esta contribución es por familia, casa o conexión, y a veces es diferente según el tipo de conexión.

– *Contribución ocasional:* la gente paga cuando surge un problema o hay que cambiar alguna pieza. Este sistema puede ser preferible cuando no hay gastos regulares como consumibles o personal contratado. También puede ser apropiado cuando los gastos de mantenimiento son bajos, como en el caso de algunas bombas manuales (de succión, de cuerda) o de pozos sin proteger. Se pueden organizar algunas actividades como fiestas, juegos, competiciones, bingos, etc., para promover la contribución de la gente.

– *Pagar según consumo:* los usuarios pagan por la cantidad de agua consumida. Este es el sistema más común cuando hay costes de operación regulares. Las formas de medir el agua consumida son variadas. Como ejemplos se puede citar: por el número de recipientes que se llenan, mediante contadores de agua, o por horas de uso de una conexión.

3.7.3 ESTIMACIÓN DE LAS TARIFAS

Los costes de operación normal y de mantenimiento se tienen que cubrir con la contribución financiera de la comunidad. Si el sistema se ha diseñado bien y la tecnología escogida es la adecuada, las tarifas deben ser asequibles para todos los usuarios. El nivel adecuado de pagos puede que no sea fácil de establecer y se recomienda tener en cuenta todos los gastos esperados a lo largo de la vida del sistema.

Se ha de calcular el coste total de operación y mantenimiento del sistema y comunicárselo a la comunidad. A partir de entonces es responsabilidad de la comunidad decidir sobre las tarifas a aplicar. Los costes totales son:

– *Costes de operación*: gastos para las operaciones diarias (combustible, aceite, electricidad, cloro, sulfato de aluminio, sueldos de los operarios, etc.).

– *Costes de mantenimiento*: gastos realizados para evitar o reparar averías en el sistema de suministro (reposición de una junta, revisión de la bomba, reparación de una fuga, etc.). Para determinar este coste es preciso conocer:

- tipo de mantenimiento (preventivo o correctivo);
- frecuencia de mantenimiento esperada;
- equipos y materiales necesarios;
- vida útil de los componentes del sistema de abastecimiento de agua y del equipo de mantenimiento;
- análisis del agua (equipos, consumibles, frecuencia de los análisis…);
- actividades ambientales dirigidas a la preservación de los recursos hídricos (reforestación, mantenimiento de cercas de protección, etc.).

– *Costes administrativos:* gastos para mantener la estructura de apoyo humana y material (gastos de formación, papelería, etc.).

– *Costes de amortización*: el objetivo aquí consiste en crear un fondo, por medio de contribuciones periódicas, de modo que la comunidad pueda permitirse la reposición/reconstrucción del sistema al final de su vida útil.

Una vez establecidos estos costes, la comunidad decidirá el tipo de tarifa y la cantidad a pagar por el usuario o familia. Los Cuadros 3.4 y 3.5 contienen ejemplos de Costa de Marfil y Honduras que muestran diferentes modos de calcular las tarifas necesarias para mantener una bomba manual Vergnet y una red de distribución por gravedad.

Cuadro 3.4
Ejemplo de estimación de una tarifa: bomba manual Vergnet en Costa de Marfil.

Costes a cubrir por los usuarios:

– Costes de operación: ninguno, no hay consumibles y cada usuario extrae su propia agua.

– Costes de mantenimiento: dependen de la intensidad de uso y del tipo de bomba. Los mecánicos dicen que los costes durante el primer año son mínimos. Sin embargo, estos costes aumentan con el tiempo, llegando a un máximo entre el 7º y el 10º año (hay que reemplazar el globo, el cilindro y el pedal).

La figura 3.3 muestra la tendencia en el coste de mantenimiento de una bomba V4C con el tiempo (fuentes: entrevistas con mecánicos y datos de SAHER -el distribuidor de repuestos, basado en su larga experiencia-). Indica claramente que se deben hacer pagos regulares desde el momento de la instalación de la bomba para cubrir los costes que se originarán al cabo de varios años de uso.

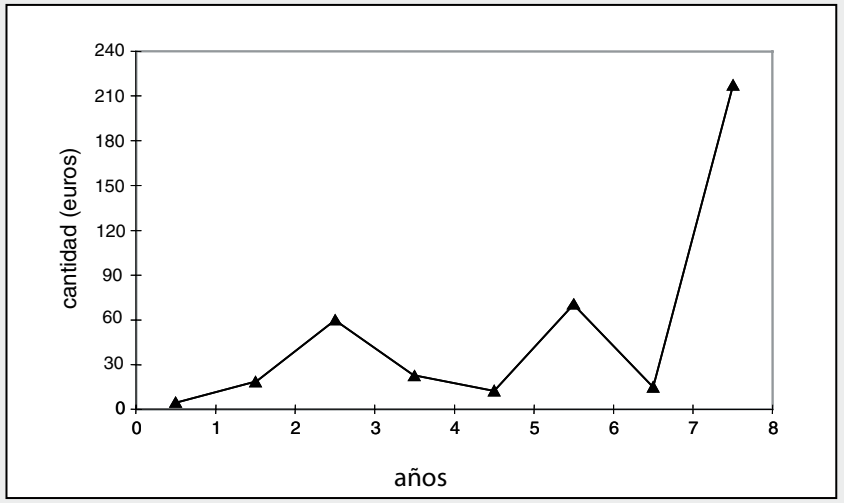


Figura 3.3: Costes de mantenimiento a lo largo de varios años de uso de una bomba manual V4C.

Para asegurar la longevidad de la bomba, el comité debe recoger 60€ anuales desde el comienzo, con el fin de poder afrontar un pago elevado al cabo de siete años. Según l'Hydraulique Villageoise, (el departamento público de agua), el comité está recaudando no menos de 90 €/año.

Los trabajadores de campo de ACF investigaron el número de familias que usaba cada bomba. El número varía de 30 a 100 familias por bomba. La lista de usuarios se entregó a los comités de agua. En el caso más desfavorable (contribución de 90 €/año por parte de 30 familias), lo que paga cada familia en concepto de agua potable es 0,26 €/mes. Comparativamente el kilo de arroz en Costa de Marfil cuesta 0,38 €.

Cuadro 3.5
Ejemplo de estimación de una tarifa: red de distribución de agua en Yusguare (Honduras).

El suministro de agua a Yusgare consta de una red urbana alimentada por cuatro estaciones de bombeo en pozos perforados y una captación de aguas superficiales. El sistema proporciona agua a 438 familias por medio de conexiones domiciliarias. La capacidad de almacenamiento de los cuatro depósitos es de 350 000 litros. Los costes calculados se indican en las tablas siguientes:

Costes de operación

N°	DESCRIPCIÓN	€ POR MES
1	Salario del operador	120
2	Costes de bombeo (electricidad)	227
3	Cloro	80
4	Varios	5
TOTAL		432

Costes de mantenimiento

Nº.	DESCRIPCIÓN	COSTE EN €	CANTIDAD POR AÑO	COSTES MENSUALES €
	Herramientas			
1	Machete	7	1	0.58
2	Azada	4.5	1	0.38
3	Pala	3	1	0.25
4	Barra de hierro	11.5	1	0.96
5	Pico	7	1	0.58
6	Sierra	1	2	0.17
	Materiales			
7	Pintura anticorrosión	4	1	0.33
8	Papel de lija	0.5	1	0.04
9	Llave inglesa 36”	35	0.2	0.58
10	Válvula de compuerta 3”	19	0.5	0.79
11	Válvula de compuerta 1 ½ “	5	0.5	0.21
12	Tubería de PVC 1 ½”	4	4	1.33
13	Tubería de PVC 1”	2	4	0.67
14	Tubería de PVC 3”	14	3	3.50
15	Cemento	3.5	3	0.88
16	Cola para PVC	5.7	0.25	0.12
17	Análisis de agua	18	4	6.00
18	Servicios ambientales	22.7	12	22.70
			TOTAL	40.1

Costes administrativos

Nº.	DESCRIPCIÓN	COSTE UNITARIO €	CANTIDAD MENSUAL	COSTE MENSUAL
1	Papelería	22	1	22
2	Dietas	4	3	12
3	Formación	3.5	1	3.5
4	Asistencia técnica	4	1	4
			TOTAL	41.5

Amortización

DESCRIPCIÓN	COSTE (€)	CANTIDAD	VIDA ÚTIL (AÑOS)	AMORTIZACIÓN ANUAL	AMORTIZACIÓN MENSUAL
Equipo eléctrico de bombeo	1360.54	4	10	544.22	45.35
Pozos perforados	1723.36	4	30	229.78	19.15
Captación de agua superficial	544.22	1	25	21.77	1.81
Depósitos elevados de hormigón	1587.30	1	25	63.49	5.29
Depósitos sencillos de hormigón	1350.00	3	35	115.71	9.64
Tubería de PVC	4.45	1800	30	267.00	22.25
Tubería de hierro galvanizado	16.33	167	40	68.18	5.68
				TOTAL €	109.18

Cálculo de la tarifa

DESCRIPCIÓN	COSTE EN €
Costes de operación mensuales	432.00
Costes de mantenimiento mensuales	40.10
Costes administrativos mensuales	41.50
Costes de amortización mensuales	109.18
COSTE TOTAL	622.78

Número de familias: 450

Número de familias que pagan: 405

Coste por usuario = coste total / número de contribuyentes = 1.40 €/ mes

Esta tarifa se ajusta anualmente por la inflación. Para el año del ejemplo (2002), la inflación fue 7,70%.

CAPÍTULO IV

Recursos hídricos

1	**El ciclo del agua**	99	**3**	**Aguas superficiales**	101
2	**Agua de lluvia**	100	3.1	Escorrentía	101
2.1	Sistemas de recogida	100	3.2	Concepto de cuenca de recepción	102
2.2	Concepto de capa de agua	101	**4**	**Aguas subterráneas**	102
			5	**Agua de mar / Aguas salobres**	102

El agua destinada al consumo humano procede de la lluvia, de las aguas superficiales, de las aguas subterráneas y del mar. Esta clasificación, basada en las características específicas y sus métodos de explotación, es arbitraria, ya que todos estos recursos forman parte de la dinámica del ciclo global del agua.

1 EL CICLO DEL AGUA

La Tierra funciona como si fuera una planta gigante de destilación, donde el agua se evapora continuamente de la superficie, se condensa y cae de nuevo sobre la superficie. Este proceso dinámico se llama "ciclo del agua" y se puede estudiar en varios niveles de tiempo y espacio. La Figura 4.1 muestra el ciclo global del agua en el planeta.

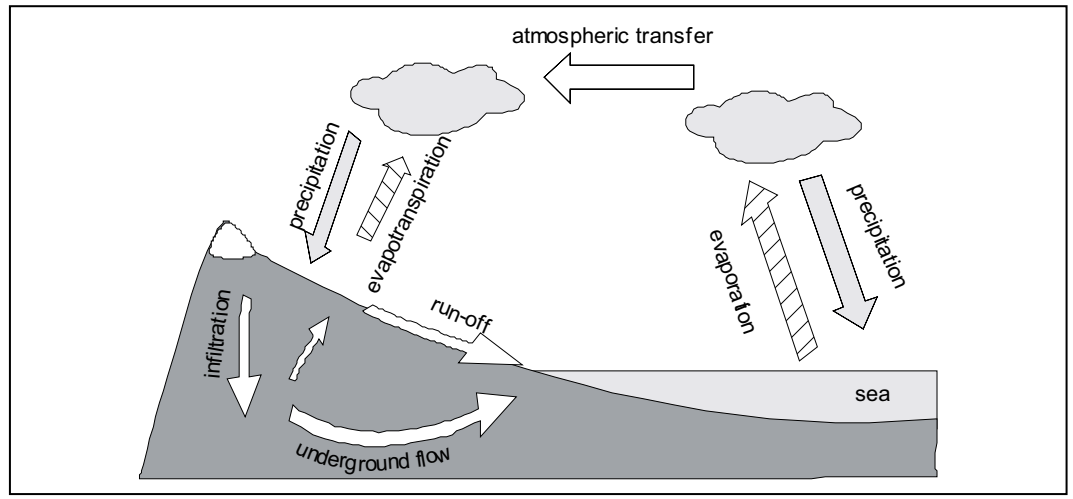


Figura 4.1: El ciclo del agua.

La evaporación tiene lugar principalmente en la superficie de los océanos, por efecto de la energía solar. En los continentes, toda el agua superficial, tanto de los ríos y lagos como de los estanques y charcas, puede evaporarse. Sin embargo, la mayor contribución continental a la evaporación se debe a la transpiración de las plantas.

En la atmósfera, el vapor de agua está sujeto al viento y otros fenómenos de transporte que alimentan la precipitación.

Parte de la precipitación sobre los continentes se evapora rápidamente o se devuelve a la atmósfera por transpiración de las plantas, y parte regresa a los océanos tras haber fluido en superficie alimentando ríos y lagos. Otra parte se filtra por el suelo convirtiéndose en agua subterránea. Este agua no es estática; sigue siendo parte del ciclo del agua: forma acuíferos subterráneos que fluyen y alimentan fuentes y corrientes de agua que, a su vez, fluyen hacia el mar (se exceptúan los yacimientos de agua fósil que no reciben aportaciones de ningún tipo).

El equilibrio hidrológico permite cuantificar los movimientos de las masas de agua indicados. Pueden expresarse de una forma simplificada como:

Flujo total = Precipitación – Evapotranspiración

Qt = P – ETR

donde Qt = flujo total; P = precipitación y ETR = evapotranspiración real (ver Anexo 6).

Considerando el ciclo a escala planetaria, De Marsily (1986) propuso los siguientes valores medios anuales:

- Precipitaciones continentales: 720 mm.
- Evapotranspiración: 410 mm.
- Flujo de corrientes superficiales y subterráneas al mar: 310 mm.
- Precipitación sobre el océano: 1 120 mm.
- Evaporación desde el océano: 1 250 mm.

Estas cifras están casi balanceadas si se considera que los océanos cubren el 70% de la superficie del planeta y los continentes el 30% restante.

Los volúmenes, caudales y tiempos de retención de las grandes masas de agua de la Tierra se indican en la Tabla 4.I. No obstante, las condiciones locales del relieve, clima y geología hacen que los ciclos varíen considerablemente de una región a otra. Hay que indicar que aunque las cifras dadas por Castany (1982) y De Marsily (1986) varíen sustancialmente, vienen a indicar que las aguas subterráneas apenas si representan el 2% del volumen total de reservas mientras que las de los océanos son del orden de 97%.

Tabla 4.I: Las principales reservas de agua en la Tierra (Caron et al., 1995).

Acumulación	Capacidad (%)	Flujo (%)	Tiempo medio de retención
Océanos	80	78	3 172 años
Atmósfera	0,3	7	4 meses
Ríos y Lagos	0,01	7	5,6 años
Agua Subterránea	19,6	7	8 250 años

2 AGUA DE LLUVIA

2.1 Sistemas de recogida

La recogida del agua de lluvia es una práctica común en muchos países. Generalmente, se usan dos sistemas de recogida.

1) Superficies inclinadas artificiales sobre edificios o sobre el terreno: se utilizan para captar el agua de lluvia. A nivel doméstico, el techo de la vivienda proporciona la superficie inclinada de recogida: unos canalones conducen el agua por bajantes hacia un almacenamiento (jarras, barriles, aljibes). Por otra parte, en el sur de Madagascar y en Haití, se han construido superficies comunitarias de recogida con losas de hormigón armado dispuestas sobre el suelo con una pendiente para conducir el agua hacia depósitos subterráneos. La calidad bacteriológica de esta agua depende de la limpieza de la superficie colectora, de los canales y del tanque, así como de las condiciones del almacenamiento y extracción.

2) La recogida del agua de lluvia puede hacerse también directamente en un estanque en regiones tropicales húmedas: en Camboya y Myanmar se excavan estanques domésticos o colectivos que se

llenan con la lluvia. Pueden usarse temporal o permanentemente, pero son generalmente fangosos y están contaminados biológicamente. El Capítulo 5 da más detalles sobre la calidad del agua de lluvia.

2.2 Concepto de capa de agua

El concepto de la "capa de agua" se utiliza para expresar la relación existente entre el agua que llueve sobre una superficie y la que se recoge por drenaje de esta superficie. Una capa de agua de 1 mm corresponde a 1 l/m^2, por lo tanto un techo de 100 m^2 que recoge 10 mm de lluvia es capaz de suministrar, en teoría, 100x10 = 1 m^3 de agua.

En la realidad no se puede recoger toda el agua que llueve, una parte se evapora y otra se pierde simplemente (goteras, rebose, etc.). Para sistemas domésticos o pequeños, Pacey y Cullis (1986) proponen los siguientes coeficientes de agua recogida/llovida:

- Tejas: 0,8 - 0,9
- Plancha metálica corrugada: 0,7 - 0,9
- Láminas de plástico: 0,7 - 0,8
- Hormigón: 0,6 - 0,8
- Ladrillo: 0,5 - 0,6

Por tanto, 10 mm de lluvia cayendo sobre un tejado de plancha metálica corrugada de 100 m2 recoge 10x100x0,7 = 700 litros de agua (Figura 4.2).

Para diseñar un sistema de recogida de agua de lluvia, se recomienda recopilar datos de pluviometría y/o instalar pluviómetros.

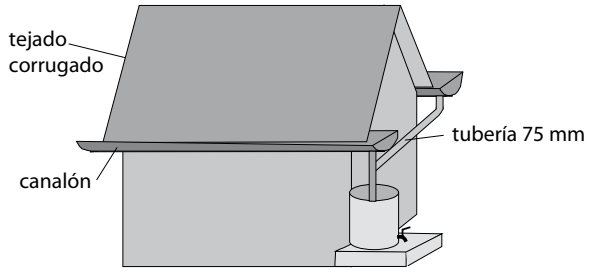


Figura 4.2: Recogida de agua de lluvia de un tejado.

3 AGUAS SUPERFICIALES

El agua superficial se presenta de varias maneras, y los métodos para su aprovechamiento son también variados.

3.1 Escorrentía

Parte del agua que cae sobre el suelo discurre por la superficie. A veces, *esta escorrentía se intercepta con alguna obra realizada por el hombre,* especialmente en regiones secas. Por ejemplo, en el Sahel, la escorrentía que fluye por los puntos más bajos del terreno se retiene por una presa que se usa para atender las necesidades de las personas y de los animales. Estos embalses pueden ser temporales o permanentes, pero generalmente son fangosos y están contaminados con materia fecal. Es difícil protegerlos, pero siendo el único punto de agua disponible, son de una importancia vital. El almacenamiento del agua puede hacerse en aljibes subterráneos, llamados *birkad* en el África Oriental (Etiopía, Somalia). En este caso los animales no tienen acceso directo al agua, que está así protegida de la contaminación al tiempo que se reduce la evaporación.

Las corrientes de agua temporales (torrentes), llamadas a veces por su nombre arábigo *oued* o *wadi,* se caracterizan generalmente por su régimen irregular, tienen gran capacidad de erosión cerca de la cabecera y una zona sedimentaria en las partes bajas. Acompañando a estos torrentes suele existir en paralelo una corriente de agua subterránea, de modo que su explotación suele acompañar a la del agua subterránea (ver Capítulo 10).

Los cursos de agua permanentes son aprovechados en todo el mundo al ser perennes y fáciles de explotar directamente. Su calidad es muy variable de un caso a otro: son muy vulnerables a la contaminación superficial, pero tienen una capacidad de auto-purificación relacionada con las condiciones biológicas del ambiente acuático. Están estrechamente relacionadas con las aguas subterráneas, que se pueden aprovechar indirectamente por medio de pozos o sondeos en la zona de los depósitos aluviales.

Los lagos son áreas extensas de agua sin conexión directa con el mar. Se forman en depresiones topográficas alimentadas por cursos de agua superficial y precipitaciones directas, o aguas arriba de represas que interrumpen el flujo normal del agua. Los lagos tienen también una cuenca de recepción similar a la de los ríos. Se usan como puntos de suministro de agua, con una calidad muy variable. Al igual que los otros puntos de suministro de agua superficial, son vulnerables a la contaminación.

Se pueden ver más detalles sobre la calidad del agua superficial en el Capítulo 5.

3.2 Concepto de cuenca de recepción

El agua superficial fluye por acción de la gravedad y la dirección del flujo depende de la topografía. La cuenca de recepción se define como el grupo de pendientes inclinadas hacia el mismo curso de agua, en el que todas vierten el agua. Las cuencas de recepción vienen delimitadas por las divisorias de aguas, y se identifican en el mapa topográfico por líneas de crestas o zonas elevadas. Generalmente desaguan por una corriente que evacúa el agua, en cuyo caso se llaman cuencas exorreicas, a diferencia de las cuencas endorreicas que están cerradas (sin salida de agua).

La explotación de aguas superficiales se lleva a cabo tras determinar su calidad (ver Capítulo 5) y la cantidad disponible.

4 AGUAS SUBTERRÁNEAS

Según Castany (1982), cerca del 60% del agua potable del globo está almacenada en forma de hielo o nieve, menos del 0,5% en el agua superficial de los continentes, y el 40% en forma de agua subterránea. Por lo tanto, el aprovechamiento de este recurso es vital para muchas poblaciones.

Las aguas subterráneas se estudian y desarrollan ampliamente en varios capítulos posteriores.

5 AGUA DE MAR / AGUAS SALOBRES

El aprovechamiento a nivel doméstico o comunitario de la potabilización de aguas salobres/salinas por medio de la destilación solar está bastante extendido en áreas de baja pluviosidad en las que la insolación es intensa y se hallan próximas a la orilla del mar o de una fuente de agua no potable (excesiva salinidad).

Las instalaciones más sencillas no tienen consumo energético alguno y, careciendo de partes móviles, la operación y el mantenimiento son simples (limitándose a la limpieza) y de escasa entidad.

Otra posibilidad de aprovechamiento hace uso de la ósmosis inversa, que produce agua de gran calidad, requiere una fuente de electricidad y una operación muy cuidadosa, y el personal ha de ser bastante cualificado. Genera un efluente de elevado contenido en sales que hay que verter apropiadamente.

Calidad y análisis del agua

1 Calidad del agua y estrategia para los programas sanitarios 104
1.1 Calidad del agua y salud pública 104
1.2 Calidad del agua y tipos de programas 104
1.2.1 Programas de emergencia 104
1.2.2 Programas a largo plazo 105
1.3 La calidad del agua en las diferentes fases de programa 105
1.3.1 Selección del recurso hídrico 106
1.3.1.1 La calidad de los recursos hídricos a nivel regional 106
1.3.1.2 Verificación de la calidad en el punto de agua 107
1.3.2 Seguimiento de la calidad del agua 108
1.3.2.1 Seguimiento de la calidad del agua suministrada 108
1.3.2.2 Seguimiento a nivel doméstico 108
1.4 Recursos hídricos y calidad del agua 108
1.4.1 Agua de lluvia 108
1.4.2 Aguas superficiales (ríos) 109
1.4.3 Agua superficial estancada (estanques locales) 110
1.4.4 Agua subterránea 111
1.4.5 Evaporadores domésticos o colectivos de aguas salinas/salobres 112
2 Estándares y directivas o recomendaciones 112
2.1 El concepto de contaminación 112
2.2 El concepto de toxicidad 114
2.3 Estándares de calidad, directivas e indicadores 115
2.3.1 Uso práctico de los estándares de calidad del agua 115
2.3.2 Directivas OMS, tercera edición (2003) 116
2.3.2.1 Directivas relacionadas con la salud 116
2.3.2.2 Directivas no relacionadas con la salud (recomendaciones) 117
2.3.3 El proyecto Esfera 2004 117
3 Indicadores de calidad 119
3.1 Estudios sanitarios y evaluación de riesgos relativos a la calidad del agua 120
3.2 Análisis biológico 120
3.2.1 Organismos patógenos presentes en el agua 121
3.2.2 Análisis bacteriológico 122
3.3 Características físico-químicas 122
3.3.1 Acidez (pH) 122
3.3.2 Alcalinidad 123
3.3.3 DBO, DQO, oxidabilidad 123
3.3.4 Conductividad y sólidos disueltos totales 123
3.3.5 Oxígeno disuelto 124
3.3.6 Dureza 124
3.3.7 Temperatura 124
3.3.8 Turbidez 125
3.4 Iones principales 125
3.4.1 Calcio y magnesio 125
3.4.2 Cloruros 126
3.4.3 Hierro 126
3.4.4 Nitratos y compuestos de nitrógeno 126
3.4.5 Fosfatos 127
3.4.6 Sodio y potasio 127
3.4.7 Sulfatos y ácido sulfhídrico 128
3.5 Oligoelementos y minerales tóxicos 128
3.5.1 Arsénico 128
3.5.2 Cloro 128
3.5.3 Flúor 128
3.5.4 Plomo 129
3.5.5 Manganeso 129
3.5.6 Otros elementos 129
3.6 Índices biológicos 129
4. Análisis del agua 129
4.1 Toma de muestras 130
4.1.1 Método 130
4.1.2 Materiales de los envases 130
4.1.3 Cambios y conservación de las muestras 130
4.1.4 Recomendaciones específicas 130
4.1.4.1 Muestras para análisis bacteriológicos y DBO 130
4.1.4.2 Parámetros químicos. 131
4.2 Métodos de análisis 131
4.2.1 Métodos 131
4.2.1.1 Análisis bacteriológico 131
4.2.1.2 Análisis químico 132
4.2.2 Utilización del mini-laboratorio 134
4.3 Presentación e interpretación de resultados 135
4.3.1 Presentación de resultados 135
4.3.2 Representatividad 135
4.3.3 Interpretación 136

La calidad del agua se define no sólo por sus parámetros físicos, químicos y biológicos, sino también por la naturaleza de su origen, el sistema de abastecimiento empleado y su uso final.

Los estándares de calidad del agua dependerán del uso al que vaya a destinarse: consumo humano (para beber, cocinar e higiene personal y doméstica), producción de alimentos (agricultura y ganadería), industria o medio ambiente.

Sin embargo, en los programas humanitarios, los indicadores de calidad del agua para consumo humano son los más importantes debido a sus implicaciones en la salud.

Existen diferentes estándares de calidad y muchos países tienen sus propios estándares de referencia. No obstante, los más reconocidos a nivel mundial son los proporcionados por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Respetar los estándares de calidad del agua puede ser difícil y quizás precise del desarrollo de sistemas no sostenibles en algunas comunidades. En estos casos, puede ser apropiado utilizar un sistema que proporcione agua de una calidad inferior, pero que alcance unos ciertos parámetros críticos de calidad para así poder hacer frente a los principales riesgos para la salud. La prioridad debe ser asegurar una cantidad de agua suficiente que permita el consumo humano, la producción de alimentos y la higiene. No todas las situaciones entrañan los mismos riesgos para la salud. Un campo de refugiados con gran afluencia, sin agua y sin instalaciones sanitarias, supone un elevado riesgo para la salud y la implementación de cualquier programa debe prestar especial atención a la calidad del agua. En este sentido, es más necesario prestar atención a los estándares de calidad del agua en los centros nutricionales y centros de salud que en los puntos de agua comunitarios.

1 CALIDAD DEL AGUA Y ESTRATEGIA PARA LOS PROGRAMAS SANITARIOS

1.1 Calidad del agua y salud pública

Tomar la cantidad suficiente de agua de buena calidad es esencial para la salud. Gran parte de las enfermedades relacionadas con el agua vienen causadas por su baja calidad, consecuencia de su contaminación química o microbiológica (Tabla 5.I).

La diarrea es uno de los principales problemas de salud en el mundo, con cerca de 4 000 millones de casos al año (OMS 2000). Una de las principales causas de transmisión de la diarrea es la falta de acceso a agua limpia. Muchas enfermedades infecciosas se transmiten por vía oral-fecal debido a patógenos presentes en las heces humanas, siendo éste el vínculo principal entre la calidad del agua y la salud pública. La finalidad de la mayoría de los programas de agua y saneamiento es bloquear las rutas potenciales de transmisión de enfermedades, vigilando la calidad del agua para controlar estas vías de transmisión y comprobar la efectividad del programa.

Tabla 5.I. Grupos de enfermedades relacionadas con la calidad del agua.

Grupo de enfermedades	Ejemplos de enfermedades
Enfermedades transmitidas por el agua (causadas por el consumo de agua contaminada biológicamente)	Cólera Fiebre tifoidea Hepatitis infecciosa Giardiasis, Amebiasis
Enfermedades con base en el agua	Esquistosomiasis, Dracunculiasis (gusano de Guinea)
Enfermedades causadas por el consumo de agua contaminada químicamente	Fluorosis, cáncer de piel (arsénico) Envenenamiento con plomo

1.2 Calidad del agua y tipos de programas

1.2.1 PROGRAMAS DE EMERGENCIA

Los contextos de emergencia se caracterizan normalmente por una elevada vulnerabilidad de la población y un alto riesgo de epidemias. Por tanto, cubrir rápidamente y de forma eficaz las necesidades básicas de la población es una prioridad. Éste es el caso de los campos de refugiados o desplazados.

En estos contextos, lo más importante es la calidad microbiológica del agua, ya que numerosos brotes de enfermedades se relacionan con su mala calidad. Por tanto, se recomienda encarecidamente el tratamiento del agua, y para ello el proceso más comúnmente utilizado es la cloración.

Cuando el agua es transparente, la cloración elimina la contaminación fecal (si bien es menos efectiva contra la mayoría de virus, protozoos y huevos de helmintos que contra bacterias). El agua turbia requiere un tratamiento previo a la cloración, siendo la práctica más habitual la utilización de floculantes químicos. El cloro residual protegerá el agua de contaminaciones bacteriológicas que puedan ocurrir en un futuro, durante un periodo de tiempo limitado después de la desinfección inicial. Se debe realizar un control diario del cloro residual en los puntos de distribución.

El control de calidad del agua debe ser sistemático y comunicado adecuadamente:

– Control diario del agua tratada mediante la medida del cloro libre residual (con un medidor de calidad del agua, "pooltester"), en los puntos de distribución de agua (grifos), y en los tanques de almacenamiento de centros de nutrición terapéutica y centros de salud.

– Si no se ha llevado a cabo la cloración del agua, hay que hacer verificaciones regulares y aleatorios de la contaminación microbiológica (recuento de coliformes fecales).

– Si se ha sometido el agua a sedimentación con productos químicos, hay que realizar análisis químicos diarios (para medir la cantidad de floculantes necesarios y para verificar el agua tratada).

Nota: la corta duración de los programas de emergencia (limitada generalmente a varios meses) implica que los riesgos de desarrollar enfermedades crónicas por ingestión de contaminantes químicos son limitados y no se consideran una prioridad. La verificación de parámetros organolépticos (sabor, olor – incluso el del cloro – y color del agua) y parámetros físico-químicos (especialmente la conductividad) se usa poco y sólo debería considerarse si la población a abastecer encuentra el agua inaceptable.

1.2.2 PROGRAMAS A LARGO PLAZO

Estos programas tienen un mayor enfoque comunitario y por tanto, van orientados hacia la autonomía de la población tanto en el uso de la fuente de agua como en el mantenimiento de su calidad a lo largo del sistema de distribución (desde los puntos de agua hasta su almacenamiento en los hogares).

En este contexto, una elección apropiada de la fuente de agua (y su uso) debe asegurar que:

– La calidad química del agua no tenga un impacto negativo en la salud pública (se debe prestar especial atención a la presencia de productos químicos tóxicos como arsénico, fluoruros, etc., como riesgo potencial de padecer enfermedades crónicas).

– La población acepte beber el agua que se suministra (que no haya problemas relacionados con el sabor – incluido el sabor a cloro – salinidad, olor o color).

– El uso de la fuente de agua debe estar sometido a un control sostenible del riesgo de contaminación biológica (diseño adecuado de los puntos de agua, participación de la comunidad y de las instituciones en el mantenimiento de las infraestructuras, y un seguimiento de la calidad del agua).

Asegurar la calidad biológica del agua (protección de la fuente de agua contra contaminaciones posteriores y uso apropiado del agua) dependerá de la gestión de los puntos de agua y de los programas de promoción de la higiene realizados a través de formación de formadores. En estos programas, la sostenibilidad en el control de la calidad del agua se deberá conseguir por medio de colaboraciones adecuadas con instituciones relevantes (p.ej. Ministerio de Desarrollo Rural) o socios locales (ONG locales, grupos comunitarios, etc.).

1.3 La calidad del agua en las diferentes fases de programa

Durante un programa normal de abastecimiento de agua, los análisis de calidad del agua deberán realizarse durante las etapas de selección, validación y control, y llevadas a cabo en el recurso hídrico, en los puntos de agua, en el sistema de distribución y a nivel doméstico en los puntos de almacenamiento (Tabla 5.II y 5.XV).

Como se muestra en los siguientes ejemplos, los parámetros de calidad del agua, especialmente los microbiológicos, pueden variar significativamente y, por lo tanto, deben controlarse con regularidad:

- En un campo de refugiados, o en cualquier otro lugar con una gran concentración de personas utilizando la misma fuente de agua, si la cantidad de agua disponible es limitada, los puntos de agua existentes estarán sobreexplotados, lo que supondrá un impacto sobre la calidad microbiológica del agua. Allí donde el saneamiento no es el adecuado, la misma fuente de agua corre el riesgo de contaminarse.

• La variación estacional del recurso hídrico, incluyendo el nivel freático, manantiales y ríos, puede tener un impacto directo en la *calidad química* del agua. Una elevada conductividad del agua muestra la existencia de altas concentraciones de sales, tanto al final de la estación seca como al inicio de la temporada de lluvias, con la liberación de sustancias químicas en los acuíferos por la filtración a través de minerales o durante las inundaciones.

Tabla 5.II. Próposito del análisis de la calidad del agua según las etapas de un programa.

Parte del sistema	Propósito del análisis de la calidad del agua
Recurso hídrico	Para confirmar la calidad del agua del recurso hídrico e identificar (por sus características) su vulnerabilidad a la contaminación. Para establecer la necesidad de tratamiento. Para recoger información para el estudio de la fuente de agua: caudal, etc.
Captación (toma de agua superficial, pozo, etc.)	Para verificar la efectividad de la captación, y protegerla de la contaminación (o re-contaminación).
Sistema de tratamiento	Para ajustar el proceso de tratamiento. Para verificar la eficacia del tratamiento.
Sistema de abastecimiento	Para detectar posibles fuentes de contaminación y sus causas correspondientes (mantenimiento, limpieza, fallos técnicos, etc.) Para controlar el uso del agua en el punto de distribución.
Transporte y almacenamiento a nivel doméstico	Para estudiar los hábitos de las personas en relación con el uso del agua (transporte y almacenamiento). Para establecer mensajes de promoción de la higiene con el fin de fomentar un uso adecuado del agua.

1.3.1 SELECCIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

1.3.1.1 LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS A NIVEL REGIONAL

En muchas situaciones es muy difícil modificar la calidad química del agua cruda de forma sostenible, por lo que los parámetros químicos deben evaluarse cuidadosamente antes de iniciar un programa, especialmente en las intervenciones a largo plazo en las que las enfermedades crónicas son un riesgo muy real (p.ej.: cáncer de piel ligado a altas concentraciones de arsénico libre en el agua).

Al mismo tiempo que se evalúan los parámetros hidrológicos del recurso hídrico (p.ej.: por inspecciones aleatorias de varios puntos de agua existentes), se verifican las características químicas de su calidad para establecer la viabilidad técnica del proyecto y su durabilidad (el recurso hídrico podría estar potencialmente afectado por contaminación natural). Este estudio podría tener influencia sobre decisiones técnicas para el desarrollo de futuros puntos de agua y es fundamental para la selección de la fuente de suministro de agua (p.ej.: son preferibles los pozos poco profundos frente a pozos perforados si existe un riesgo potencial de contaminación tóxica por minerales como arsénico o fluoruros).

Algunos parámetros pueden presentar variaciones geográficas, por eso estos datos se deben representar en mapas indicando cada una de las principales características químicas (principales parámetros, conductividad y, si es posible, minerales tóxicos). Por otra parte, los parámetros químicos están sujetos a variaciones estacionales (conductividad, minerales tóxicos) y deben tener un seguimiento en puntos seleccionados (estaciones de seguimiento), claramente registrados e identificados en los mapas.

Los estudios de calidad del agua deberían contrastarse con datos médicos (p.ej. incidencia de fluorosis dental, estadísticas sobre cáncer de piel debido a la presencia de arsénico libre en el agua, etc.) para definir los principales riesgos relacionados con la calidad del agua.

Si la única fuente de agua disponible es peligrosa para el consumo humano (la mayoría de las veces el agua superficial o el agua de lluvia constituyen una alternativa cuando las aguas subterráneas están afectadas por contaminación química) y el tratamiento es inviable, la organización puede decidir cancelar el programa, aplicando el principio de precaución. Una decisión tan crítica debería tomarse después de debates al más alto nivel contando con las instituciones nacionales o internacionales de relevancia para concienciar sobre los riesgos y alentar la búsqueda de otras soluciones.

El mapa representado en la Figura 5.1 se confeccionó durante un estudio de viabilidad. Su propósito era identificar las zonas donde la conductividad fuese >3000 µs/cm (puntos negros), con un riesgo serio de problemas de aceptación. En estos lugares se recomendó el uso de una fuente de agua alternativa, tal como la lluvia o las aguas superficiales.

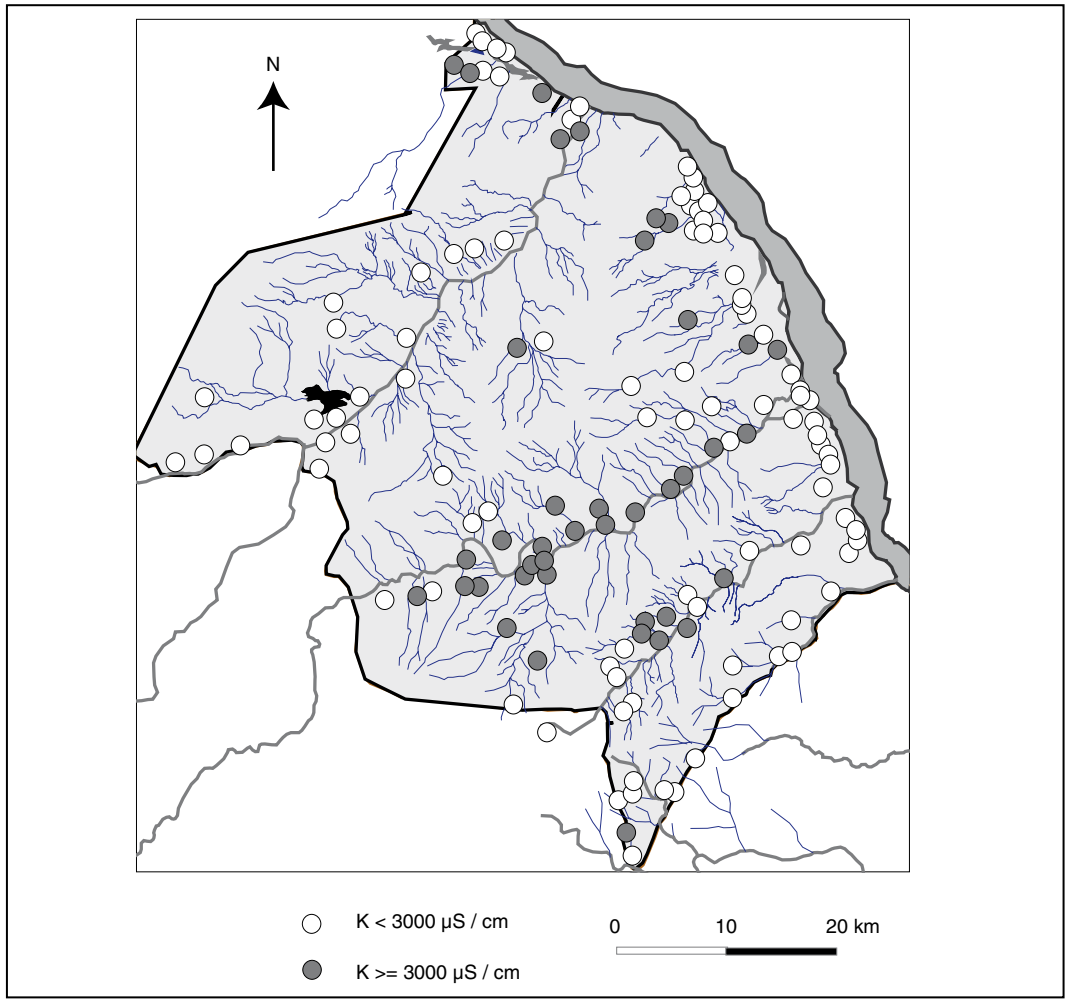


Figura 5.1: Mapa de conductividad, ACF Mozambique 1999.

1.3.1.2 VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD EN EL PUNTO DE AGUA

Tras la finalización del trabajo técnico, se analizan los parámetros químicos y microbiológicos para confirmar la calidad del agua (en parte por el compromiso contractual con las instituciones locales o con la comunidad) antes de efectuar la transferencia de la instalación.

En el caso de la rehabilitación de un punto de agua o de una red de suministro se deben realizar (antes y después de la intervención técnica) dos verificaciones de la calidad microbiológica (E. coli), para valorar el impacto de la actividad.

Nota: Durante la construcción de los puntos de agua y para anticiparse a futuros problemas se pueden verificar algunos parámetros. Por ejemplo, se realizan medidas regulares de la conductividad durante las perforaciones. Si se sospecha la presencia de sustancias tóxicas, se pueden realizar análisis más específicos (por ejemplo, de arsénico, que es un problema potencial en países a lo largo del Delta del Mekong y en Nepal; ahora se controla regularmente por ACF durante las perforaciones en Camboya).

1.3.2 SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA

1.3.2.1 SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA SUMINISTRADA

El seguimiento de la calidad del agua suministrada se lleva a cabo dado el riesgo de re-contaminación en el sistema. El objetivo es la detección de la fuente de contaminación y sus causas, y debe realizarse en todas las fases del sistema (captación, almacenamiento, tuberías y puntos de distribución).

La contaminación puede deberse a fallos técnicos o falta de mantenimiento (p.ej. contaminación microbiológica por la re-infiltración del agua que había sido extraída anteriormente, por fallos en el recubrimiento del cubeto del pozo, o un sellado inadecuado alrededor de la parte superior del pozo perforado, ausencia de valla perimetral, etc.). La contaminación de un punto de agua/red de distribución puede estar relacionada con los problemas del medio ambiente más próximo, tales como un saneamiento inadecuado, el uso de fertilizantes en los campos cercanos, actividad industrial en el área de captación, etc.

Los principales parámetros a controlar en el punto de agua / red de distribución son biológicos (algas, etc.) y microbiológicos (coliformes fecales), y el control puede realizarse mediante:

– Seguimiento rutinario de la calidad microbiológica del agua. La frecuencia de los análisis depende de la probabilidad de riesgos específicos (brotes) y del estado del sistema.

– Inspección sanitaria del punto de agua/red de distribución: esta actividad, que debe desarrollarse conjuntamente con la institución local apropiada, consiste en una lista de verificación completa para cada tipo de punto de suministro, con el fin de confirmar el estado, uso y mantenimiento de la instalación (p.ej. está resquebrajado o roto el faldón o cubeto del pozo, etc., ver Anexo 7). El comité de agua responsable ha de participar en estas tareas.

En caso de un riesgo tóxico a nivel regional, el seguimiento de los principales parámetros químicos se lleva a cabo dos veces al año (al final de las estaciones seca y húmeda) para verificar la idoneidad de la fuente de agua.

1.3.2.2 SEGUIMIENTO A NIVEL DE DOMÉSTICO

Éste es el aspecto más importante porque afecta directamente a la salud de la población meta. También es el más difícil de comprobar; incumbe a toda la cadena de distribución, desde el punto donde se distribuye el agua hasta los hogares de los usuarios (en la práctica, se escoge una muestra de hogares); los controles pueden dar resultados distintos de un hogar a otro (dependiendo de cómo se realiza el trasporte y almacenamiento del agua, hábitos higiénicos, etc.); también pueden ser variables en el tiempo (por ejemplo, durante la estación de lluvias las personas pueden utilizar agua de fuentes desprotegidas tales como charcas estacionales y arroyos, y la calidad de estas aguas también tiene que ser verificada).

El principal parámetro a tener en cuenta es la *contaminación fecal* (indicada por el recuento de coliformes fecales), que siempre debe complementarse con un estudio sanitario (limpieza, condiciones de los recipientes domésticos de almacenamiento de agua, prácticas higiénicas, etc.).

A nivel doméstico, las principales intervenciones para preservar la calidad del agua están enfocadas a la promoción de la higiene y el suministro de los medios necesarios para una práctica higiénica conveniente; por ejemplo, un almacenamiento de agua adecuado o instalaciones sanitarias apropiadas.

1.4 Recursos hídricos y calidad del agua

1.4.1 AGUA DE LLUVIA

Observaciones generales sobre la calidad:

Las principales ventajas del agua de lluvia para el consumo humano son:

- Riesgo de contaminación biológica muy bajo.
- Conductividad muy baja.
- Turbidez muy baja.

La dependencia a largo plazo del agua de lluvia como único suministro puede causar problemas en la salud debido a su bajo contenido en minerales.

Factores de contaminación:

- Partículas de suciedad depositadas en tejados y canalones.
- Contaminación superficial directa y la producida por animales en terrenos abiertos de cultivo.
- Contaminación biológica (algas, parásitos, bacterias) de los depósitos de almacenamiento.
- Desarrollo de turbidez en caso de falta de mantenimiento de los depósitos, superficies de captación de lluvia, canalones (principalmente al principio de la estación de lluvias).
- Aparición de alcalinidad por la reacción del agua con el revestimiento interior de depósitos nuevos.
- Posible presencia de residuos de combustión, emisiones industriales y polvo, procedentes de la atmósfera, incluyendo altas concentraciones de NO y SO_2 (lluvia ácida en India). Este riesgo es mínimo en la mayoría de lugares.

El agua de lluvia se utiliza principalmente a nivel doméstico, pues aunque su calidad intrínseca es buena, los sistemas de captación y almacenamiento se contaminan fácilmente y la calidad del agua suministrada es generalmente baja.

Otras desventajas:

- El desarrollo de larvas de mosquito y otros insectos en los depósitos de almacenamiento de agua supone un riesgo potencial de enfermedades transmitidas por estos vectores (malaria, dengue, etc.).

Análisis recomendados:

- Control microbiológico regular en el depósitos principal de almacenamiento de agua y en los puntos de distribución.
- Al inicio del programa y después una vez al año, se deberían verificar los niveles de NO, SO_2 y pH.

1.4.2 AGUAS SUPERFICIALES (RÍOS)

Observaciones generales sobre la calidad:

Las principales características de las aguas superficiales son las siguientes (ver también Cuadro 5.1):

- Normalmente la contaminación microbiológica es elevada, particularmente en los ríos que atraviesan zonas habitadas.
- El riesgo de toxicidad debida a elementos minerales es limitado. Esto indica que las aguas superficiales son una alternativa recomendable frente a las aguas subterráneas contaminadas (p.ej. por arsénico o fluoruros).
- Proporcionan una solución rápida y a corto plazo frente un problema eventual de contaminación.
- La variedad de indicadores biológicos (peces, plantas, algas) facilita la identificación de la contaminación.
- La turbidez es generalmente alta, con el riesgo consiguiente de adsorción de patógenos sobre las partículas en suspensión.

Factores de contaminación:

- Escasa protección ante los riesgos de contaminación directa (p.ej., contaminación fecal humana o animal).
- Presencia de materia orgánica (cuya degradación causa una disminución de los niveles de oxígeno disuelto).
- La presencia de nutrientes vegetales (p.ej., por contaminación agrícola) pueden causar eutrofización del agua.
- Posible presencia de pesticidas (órgano-clorados, órgano-fosfatados, carbamatos, etc.), si se usan habitualmente en la zona.

Análisis recomendados:

- Análisis biológicos regulares, así como de la turbidez y la conductividad, que indican contaminación ocasional.
- Verificación exhaustiva de los principales elementos y compuestos tóxicos al comienzo del programa, y luego dos veces al año (al final de las estaciones seca y lluviosa para constatar cualquier fenómeno de concentración / disolución).
- Análisis regulares de PO_4, NO_3, K, principalmente por el riesgo de contaminación agrícola, incluyendo pesticidas o fertilizantes, o si el control de la conductividad muestra un incremento inesperado.

Cuadro 5.1
Fenómenos concretos relacionados con la calidad del agua superficial.

La evolución natural de la calidad del agua superficial
La calidad del agua de un río sufre una evolución natural desde su origen hasta la desembocadura:

– Perfil de la evolución de las aguas a causa de la erosión regresiva: cerca del nacimiento las aguas transportan piedras gruesas, aguas abajo trasportan partículas finas y finalmente las depositan como sedimentos.

– Evolución fisicoquímica y mineralización: las concentraciones de materia orgánica y minerales disueltos aumentan aguas abajo, con un descenso del nivel de oxígeno disuelto y un aumento de la temperatura del agua.

– Evolución biológica: aguas abajo aumenta la actividad biológica y en particular la presencia de bacterias, que participan en la descomposición de la materia orgánica.

Contaminación del agua superficial con materia orgánica
La introducción de materia orgánica en el curso de un río provoca una modificación de su entorno natural aguas abajo:

a) Disminución del oxígeno disuelto, por degradación aeróbica de la materia orgánica: bajo condiciones específicas es un fenómeno de auto-purificación.

b) Alteración de parámetros fisicoquímicos: aumento de temperatura, pH y amoniaco (NH_3).

c) Sedimentación de lodo anaeróbico, con liberación de gas metano (CH_4) y sulfuro de hierro (piritas de hierro).

d) Un aumento de la mineralización que puede causar eutrofización.

Eutrofización:

– El fenómeno es igual que se origine por procesos naturales (p.ej., floración estacional de algas en lagos) como por causas artificiales (contaminación, exceso de elementos minerales, fosfatos provenientes de detergentes, etc.)

– Las fases son: aumento de la población de fitoplancton, aumento de la turbidez, concentración de algas en las capas superficiales y muerte repentina de la vegetación (debido a las altas temperaturas) seguida de sedimentación de la materia orgánica, disminución de los niveles de oxígeno y diagénesis.

– La eutrofización conduce a un aumento significativo del pH, ligado a una liberación de sustancias tóxicas como NH_3 que malogra la potabilidad del agua.

1.4.3 AGUA SUPERFICIAL ESTANCADA (ESTANQUES LOCALES)

Observaciones generales sobre la calidad:

Las características biológicas y químicas del agua estancada son las siguientes:

- La presencia de parásitos que pueden suponer un riesgo para la salud al consumir el agua, p.ej. contaminación de agua potable por el trematodo intestinal Fasciolopsis; o por contacto, p.ej. Schistosoma cercariae que penetra por la piel.
- La presencia de bacterias (posiblemente patógenas, p.ej. Salmonella spp.) depende de las condiciones naturales y de la aportación de agua al estanque. Los estanques alimentados por aguas superficiales de escorrentía tienen un alto riesgo de contaminación fecal.
- Una concentración limitada de compuestos tóxicos naturales (los estanques pueden ser una alternativa útil a las aguas subterráneas mineralizadas).
- Mineralización anaeróbica activa que implica un reciclaje rápido de materia orgánica (auto-purificación).

- Amplio espectro de indicadores biológicos (peces, plantas, algas) que facilitan la identificación de la contaminación.

Factores de contaminación:

- Contaminación fecal del estanque local, especialmente debido a la presencia de animales domésticos y al hecho de compartir el agua con el ganado.
- En el caso de inundaciones o ciclones, los estanques, así como los pozos, son especialmente vulnerables a cualquier contaminación superficial.
- En el caso de contaminación agrícola, los estanques (y lagos) pueden concentrar elementos tóxicos (como es el caso del mar Aral y los lagos relacionados de Karakalpakstan).

Análisis recomendados:

- Observación directa de indicadores biológicos, parásitos y larvas de mosquitos.
- Observación directa de posible contaminación fecal (estiércol, huellas de animales).
- Análisis bacteriológicos regulares (indicadores de contaminación fecal).

Factores negativos:

Estas áreas pueden contribuir a la insalubridad general de la zona (malaria, mosquitos, gas de las ciénagas (CH_4)).

Nota: los estanques se diferencian de los lagos en que su profundidad es limitada, y tienen características ambientales específicas:
La luz solar puede alcanzar el fondo, permitiendo el crecimiento de vegetación con raíz.
La temperatura del agua es homogénea (no hay termoclina, que si está presente en los lagos).
La presencia de elementos minerales disueltos es homogénea.

1.4.4 AGUA SUBTERRÁNEA

Consideraciones generales sobre la calidad:

En términos generales, el agua subterránea tiene una buena calidad microbiológica y no es vulnerable a la contaminación exterior. Excepciones a esto son los sistemas cársticos con una rápida infiltración de agua, o cuando la filtración de la contaminación superficial en las capas de suelo más altas es insuficiente.

Esta buena calidad microbiológica, y especialmente con la extracción mediante pozos perforados, hace que el agua subterránea sea ideal para el consumo humano. El riesgo principal es la contaminación química natural, como la abundancia de minerales tóxicos (p.ej., As y F) en algunos contextos muy específicos.

Nota: la excelente calidad biológica del agua subterránea se debe a:
La filtración y fijación de elementos biológicos por el suelo (ver capítulo XIX, apartado 3.5).
Las condiciones anaeróbicas que limitan la presencia de bacterias (y materia orgánica).
La falta de luz que limita la presencia de bacterias fotótrofas.
La temperatura baja y estable y, generalmente, la baja concentración de nutrientes que limita el crecimiento bacteriano.

Factores contaminantes:

La contaminación superficial, ligada principalmente a una explotación inapropiada del recurso (mal diseño del punto de agua y falta de protección) constituye una amenaza para la buena calidad biológica del agua subterránea.

- La vulnerabilidad del acuífero está estrechamente relacionada con la posibilidad de migración de la contaminación superficial por la zona no saturada y del comportamiento de la 'nube' de contaminación en la zona saturada (relacionado con la transmisividad del acuífero).
- El paso del agua a través de depósitos minerales (como sulfatos dolomíticos y facies Triásicas, yeso) puede conllevar una concentración elevada de sólidos disueltos, con el desarrollo de un sabor desagradable.
- La presencia de compuestos tóxicos de procedencia natural, debido a la filtración a través de

tipos específicos de rocas o formaciones geológicas (cuarcitas o meta-sedimentos que contienen altas concentraciones de fluoruros y depósitos de sulfuros que liberan arsénico). La concentración de elementos disueltos se relaciona a menudo con reacciones redox: una oxidación y precipitación de elementos en la parte superior, la zona oxidada de los acuíferos (p.ej., As (III) tóxico se convierte en As (V)) causando un disminución en la concentración y una reacción de reducción (causando un aumento de la solubilidad y por lo tanto una disponibilidad mayor, en el caso de As) en partes más profundas del acuífero. Esto conlleva la creación de una zona contaminada con As a 20-70 m. de profundidad en los sedimentos recientes del delta del Río Mekong, en Camboya.

Análisis recomendados:

- Análisis completo de los elementos y compuestos tóxicos principales, para confirmar la validez del recurso y del punto de agua.
- Se debe verificar la conductividad y el pH durante el proceso de validación del punto de agua.
- Seguimiento microbiológico de los puntos de agua para identificar los principales riesgos: contaminación biológica (fecal).
- Control de potasio, fosfatos y particularmente de nitrato (NO_3) y pesticidas (atrazine) en áreas de agricultura intensiva (p.ej. en los campos de algodón de Tajikistán y Uzbekistán).

1.4.5 EVAPORADORES DOMÉSTICOS O COLECTIVOS DE AGUAS SALINAS/SALOBRES

Consideraciones generales sobre la calidad

En términos generales el agua obtenida por los evaporadores solares es de buena calidad química y microbiológica, aunque con el tiempo se pueden desarrollar cultivos de algas y otros microorganismos en el sistema, que hay que tratar con germicidas. Este tipo de agua tiene las mismas características que el agua de lluvia pero no arrastra sólidos.

El bajo contenido en minerales y oxígeno disueltos puede acarrear algún problema sanitario a largo plazo si sólo se usa esta fuente de agua para beber y cocinar.

Factores contaminantes

El riesgo mayor de contaminación tiene lugar en los recipientes de recogida y el tubo de salida, por el posible desarrollo de microorganismos. Siendo generalmente sistemas cerrados la contaminación biológica es escasa.

Consideraciones sobre la operación

La operación de estos sistemas es muy sensible al nivel de agua alimentada dentro del canalón por lo que hay que instruir adecuadamente a los que vayan a operar la instalación.

2 ESTÁNDARES Y DIRECTIVAS O RECOMENDACIONES

2.1 El concepto de contaminación

La contaminación se debe a todos los factores directos e indirectos que pueden afectar a la calidad del agua. Esta definición ha de tener en cuenta el concepto de flujo contaminante (evolución de la "cantidad" de contaminación en el tiempo) y contaminación potencial (por ejemplo, la construcción de letrinas en un área de nivel freático poco profundo).

La contaminación puede ser el resultado de actividades humanas o de fenómenos naturales (incluyendo animales y plantas) y puede ser la responsable de la baja calidad del agua y del incumplimiento de los estándares de calidad del agua relacionados con su uso.

Hay varios tipos de contaminantes:

Domésticos: a nivel doméstico, la contaminación fecal es la principal causa de contaminación del agua. Se debe tener en cuenta también la abundancia de materia orgánica y elevadas concentraciones de sales minerales (compuestos de nitrógeno, fosfatos, etc.), de detergentes y derivados órgano-clorados.

Agrícolas y ganaderos: los pesticidas y los fertilizantes son la principal causa de contaminación agrícola. Las aguas también pueden contener el patógeno *E.coli* y otros patógenos de origen fecal animal.

Industriales: los vertidos de las fábricas (hidrocarburos, productos químicos, aguas a altas temperaturas) suelen ser riesgos limitados en los contextos de intervención humanitaria.

Naturales:

- Contaminación geológica, causada por la liberación de elementos solubles, como arsénico o fluoruros, en agua por filtraciones a través de minerales concretos (fluoroapatito, esfalerita de Pb-Zn, pirita de arsénico y otros). Estos elementos pueden dispersarse en sucesos concretos (inundaciones fluviales), manantiales termo-minerales y nafta natural. Estos procesos son complejos y contextuales y dependen enormemente del entorno químico del agua subterránea.
- Contaminación microbiológica y biológica (bacterias, virus, hongos, protozoos, helmintos).
- Contaminación física (turbidez, temperatura del agua, radioactividad).

En los programas humanitarios, la fuente principal de contaminación del agua está relacionada con las actividades humanas y el ciclo fecal-oral de transmisión de enfermedades, principalmente debido a las malas condiciones sanitarias, contaminación de la fuente de agua, puntos de agua mal diseñados, mantenimiento deficiente de las instalaciones y malas prácticas higiénicas (debido a la falta de conocimiento o a la falta de recursos para aplicar principios higiénicos).

En otros casos, puede aparecer contaminación química debida a minerales tóxicos naturales y, raras veces, debida al uso de pesticidas (p.ej., en actividades agrícolas intensivas en algunos países de Asia Central).

La contaminación se describe en términos de su distribución espacial y temporal (se puede describir como un sistema matemático diferencial donde el yacimiento de agua se representa como una "caja negra" con una concentración de contaminantes determinada por el equilibrio de contaminantes entrando y saliendo de ella – ver Figura 5.2). Los principales parámetros de contaminación a considerar son: su intensidad (agudeza), su distribución física (contaminación localizada o difusa, variabilidad vertical, etc.) y su evolución en el tiempo.

La contaminación puede ser crónica (adición continuada de contaminantes), ocasional o cíclica (por ejemplo, flujo contaminante relacionado con la cantidad lluvia). A menudo, cada tipo de recurso hídrico está afectada por un tipo de contaminación específica (sean aguas superficiales o subterráneas).

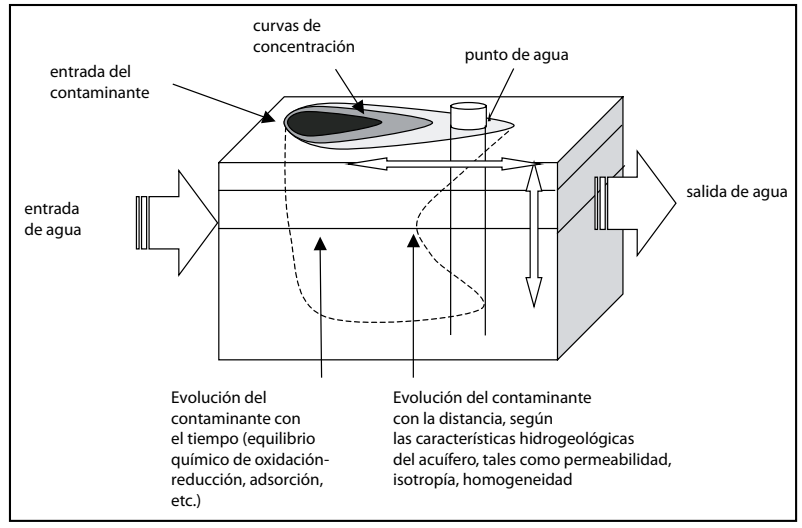


Figura 5.2: Evolución de la difusión de contaminantes en un acuífero.

2.2 El concepto de toxicidad

Un elemento pasa a ser tóxico en el agua cuando supera una concentración específica, pero en concentraciones menores puede ser beneficioso o incluso esencial para la salud humana, tal como se muestra a continuación en el diagrama Misterlich (Figura 5.3).

Este tipo de diagrama explica el caso de los fluoruros, ilustrado por el programa de ACF en el este de Sri Lanka. La escasez de fluoruros, por debajo de una concentración de 0,5 mg/l (zona 'D' en el diagrama) aumenta el riesgo de caries dental. Sin embargo, por encima de 1,5 mg/l (directivas WHO, 2003), los fluoruros causan fluorosis, destruyendo el esmalte dental e interfiriendo en el desarrollo del esqueleto, debido a un proceso crónico de toxicidad que afecta principalmente a niños menores de 8 años. La OMS define valores como el Consumo Diario Tolerado (TDI), el Nivel de Efectos Adversos No Observados (NOAEL) y el Nivel de Pocos Efectos Adversos Observados (LOAEL), los cuales están en función del peso de cada individuo.

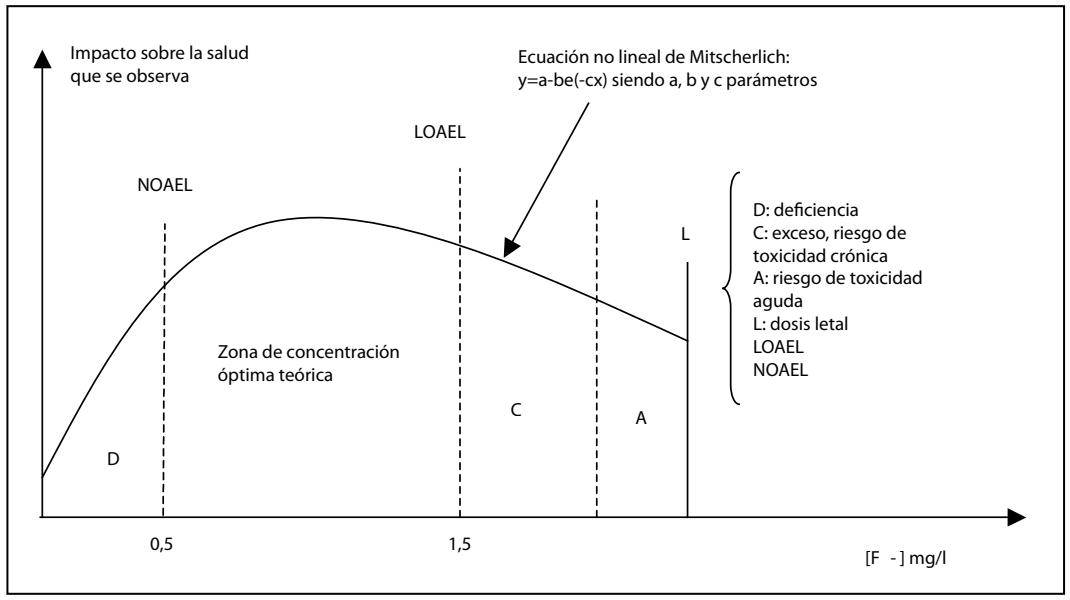


Figura 5.3: Diagrama Misterlich.

La toxicidad tiene diferentes consecuencias en función de la concentración de la sustancia química en el agua:

- *Toxicidad aguda*: violenta e inmediata enfermedad/muerte.
- *Toxicidad media*: solo está afectado un porcentaje de la población.
- *Toxicidad crónica*: las consecuencias aparecen tras un largo tiempo de continuada exposición a concentraciones límite, con efecto acumulativo en el organismo (como es el caso de los fluoruros o el arsénico).

Los principales elementos químicos que afectan a la salud humana y que pueden aparecer en el agua, se podrían agrupar del siguiente modo:

- *Elementos esenciales*: Na, Mg, K, Ca, Si, P, S, Cl, H, C, O.
- *Elementos tóxicos*: As, Pb, Cd, Al, Ag, Sb, Hg, U, Rn.
- *Elementos esenciales que son tóxicos a altos niveles:* N, F, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Mo, Ba, Be.

2.3 Estándares de calidad, directivas e indicadores

2.3.1 USO PRÁCTICO DE LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AGUA

Los estándares de calidad del agua hacen referencia a sustancias y parámetros que pueden tener alguna importancia para la salud o que puedan afectar a su aceptación. No obstante, en los comentarios hechos por la OMS (ver Cuadro 5.2), se hace hincapié en que las directivas para la calidad del agua potable deben usarse considerando el contexto local o el nivel de servicio local (calidad promedio del agua suministrada, estándares nacionales, cobertura en el suministro del agua potable). Circunstancias excepcionales (guerras, desastres, etc.) pueden impedir un seguimiento estricto de las directivas.

Es por tanto esencial seguir los estándares con sentido común, consultando las regulaciones locales y comparando la calidad del agua consumida tradicionalmente con la calidad del agua a suministrar. Disponer de una cantidad de agua suficiente y razonablemente limpia es preferible a tener una cantidad insuficiente de agua de alta calidad; la falta de agua que garantice un nivel mínimo de higiene puede causar más problemas sanitarios que tener suficiente agua de una calidad media.

Cuadro 5.2
Uso práctico de los estándares según la OMS, 2003.

"En muchos países en desarrollo o desarrollados, una proporción elevada de sistemas de abastecimiento a pequeñas comunidades no reúnen los estándares locales o nacionales de calidad. Sin embargo, debe reconocerse que desechar muchos de estos puntos de abastecimiento no es especialmente útil y hasta puede ser contraproducente. En tales circunstancias es importante llegar a acuerdos con los suministradores de agua para fijarse objetivos realistas que mejoren progresivamente el suministro de agua hasta que se pueda obtener un agua en cantidad y calidad adecuadas. Reconociendo que, en determinadas situaciones de emergencia puede ser difícil cumplir con las directivas, sería práctico clasificar los resultados de la calidad del agua en una escala de valores de calidad del agua relacionada con las prioridades de actuación. Los esquemas de valoración muy sofisticados pueden ser aplicables a aquellos suministros comunitarios donde la frecuencia de análisis es baja y la mera confianza en resultados analíticos es especialmente inadecuada."

Esta flexibilidad se aplica especialmente a la contaminación biológica: los coliformes fecales son un indicador de contaminación fecal, consecuentemente su presencia indica solamente un riesgo potencial de contaminación del agua por patógenos (ver Sección 3.2.2). Como el estándar de 0 coliformes fecales/100 ml puede ser imposible de alcanzar en muchos suministros de agua (p.ej. pozos excavados), una decisión de todo o nada (agua contaminada/agua no contaminada) tiene una importancia relativa. El enfoque más útil consiste en evaluar el riesgo de contaminación, p.ej. de cara a determinar medidas sanitarias posteriores (ver Sección 4.3.3). La OMS también recomienda este enfoque (ver Cuadro 5.2).

El nivel de riesgo debido a la presencia de patógenos relacionados con la contaminación fecal del agua puede clasificarse como se muestra a continuación, teniendo presente que el riesgo sanitario depende de la presencia de determinados patógenos conjuntamente con la susceptibilidad de la población hacia estos patógenos:

Riesgo patógeno	**Coliformes fecales /100ml**
riesgo bajo	0 a 10 (*)
riesgo significativo	10 a 50
riesgo alto	50 a 100
riesgo muy alto	> 100

(*): Algunos patógenos no tienen relación con riesgos fecales (p.ej., algunos virus, algunos protozoos, el gusano de Guinea, etc.). Para determinar el riesgo sanitario se debe complementar el análisis bacteriológico con un estudio sanitario.

2.3.2 DIRECTIVAS OMS, TERCERA EDICIÓN (2003)

Las Tablas de la 5.III a la 5.V se basan en la nomenclatura de la OMS. Las recomendaciones se refieren a los parámetros más importantes relacionados con la calidad del agua potable. Las directivas de la OMS se dividen en directivas relacionadas con la salud y directivas que no están relacionadas con la salud, refiriéndose a elementos químicos cuya peligrosidad no ha sido probada: para estos elementos, la OMS hace recomendaciones en lo que concierne al valor máximo aceptable. En algunos países, las directivas oficiales fijan estándares para estos elementos (ver Anexo 7, p.ej., las directivas francesas *Alimentación y Agua Potable* (AEP 1989)).

En este capítulo no se mencionan los parámetros que son difíciles de medir y que no causan problemas frecuentes (p.ej. cadmio). De todos modos es necesario permanecer alerta, particularmente en áreas urbanas o industrializadas, y contactar con especialistas para ocuparse de problemas concretos: es también importante referirse a cualquier directiva que exista sobre materiales peligrosos para la salud y que no están consideradas en este libro.

En los programas de agua se deberían tomar como referencia las directivas de la OMS para la calidad del agua potable, siendo especialmente importantes aquellas relacionadas con los principales riesgos para la salud. En los casos donde las directivas de la OMS no se puedan aplicar, las actuaciones deben tener por guía el principio de la precaución (ver Sección 1.3.1.1).

2.3.2.1 DIRECTIVAS RELACIONADAS CON LA SALUD

Tabla 5.III: Calidad microbiológica del agua potable.

Parámetros	Valores de la directiva OMS	Interpretación (ver sección siguiente)
E. coli o coliformes termotolerantes	0 colonias / 100 ml	O, H: indicadores de contaminación fecal (ver nota de Sección 2.3.1)

O: origen; H: salud

Nota: Según la OMS, el indicador más claro de contaminación fecal es la presencia de Escherichia coli, que forma parte del grupo de los coliformes termotolerantes (o fecales). En la práctica, la detección de bacterias de coliformes fecales en su conjunto en una alternativa aceptable y más fácil.

Tabla 5. IV: Sustancias químicas que tienen alguna importancia sanitaria para el agua potable.

Parámetros	Valores de la directiva OMS	Interpretación (ver sección siguiente)
Arsénico (As)	0,01 mg/l	O: rocas, residuos industriales (hierro y acero, industria de procesado de metales preciosos) H: Efecto cancerígeno probado (cáncer de piel)
Cloro (Cl_2)	5 mg/l	O: productos para la desinfección del agua
Cobre(Cu++)	2 mg/l	O: corrosión de las tuberías de cobre de conducción de agua, agricultura. NH: si > 5mg/l color y sabor amargo
Fluoruros (F^-)	1,5 mg/l	O: rocas, fertilizantes, alimentos (pescado), contaminación industrial (fabricación de aluminio) H: fluorosis dental y ósea.
Plomo (Pb)	0,01 mg/l	O: natural (galena), industrias químicas, corrosión de tuberías de plomo, tratamientos superficiales. H: toxicidad neurológica acumulativa.
Manganeso (Mn)	0,4 mg/l	O: rocas conteniendo hierro H: efectos tóxicos en el sistema nervioso cuando >20mg/l NH: turbidez y sabor cuando > 0,3 mg/l
Nitratos(NO_3^-)	50 mg/l	O: contaminación fecal, materia orgánica, filtración de terrenos, fertilizantes, aguas residuales H: metahemoglobinemia infantil.
Nitritos(NO_2^-)	3 mg/l	O: materia orgánica H: metahemoglobinemia infantil

O: origen; H: efecto sobre la salud; NH: no relacionado con la salud

2.3.2.2 DIRECTIVAS NO RELACIONADAS CON LA SALUD (RECOMENDACIONES)

Tabla 5.V: Parámetros y sustancias en el agua potable que pueden causar problemas de aceptación.

Parámetros	Recomendaciones de la OMS	Interpretación (ver sección siguiente)
Características organolépticas		
Color	15 TCU	Ninguno
Conductividad	1000 mg/l 1400 µS/cm	O: sólidos disueltos NH: sabor
Turbidez	5 NTU	O: materia en suspensión, coloide, materia disuelta. H: puede implicar presencia de bacterias en el agua a causa de la adsorción sobre la superficie de las partículas.
Sustancias inorgánicas / parámetros		
Aluminio(Al)	0,2 mg/l	O: coagulantes usados en el tratamiento de agua, industria, natural NH: problemas de color y aceptación cuando > 0,2 mg/l
Amoniaco (NH_4)	1,5 mg/l	O: materia orgánica nitrogenada. (basura, aguas residuales, plantas, etc.) NH: sabor y olor cuando >1,5 mg
Cloruros (Cl-)	250 mg/l	O: natural (contextos salinos), humano (orina), industrial H: efecto laxante NH: sabor salobre cuando >250 mg /l, indicador de contaminación
Dureza	200 mg/l	O: Presencia de calcio y magnesio NH: umbral de sabor, uso excesivo de jabón en limpieza
Acido sulfhídrico (H_2S)	0,05 mg/l	O: rocas, materia orgánica bajo condiciones anaeróbicas H: no hay problemas si se traga, fatal si se inhala a grandes dosis
Sodio (Na+)	200 mg/l	O: natural, industrial H: puede indicar contaminación (El sodio está presente en la orina) NH: umbral de sabor
Sulfatos (SO_4^{2-})	250 mg/l	O: natural (rocas), industrial H: efecto laxante, problema de sabor NH: agua agresiva al hormigón cuando >250 mg/l
Hierro (Fe++)	0,3 mg/l	O: rocas, coagulantes (sulfato de hierro/cloruro férrico) NH: estéticas (color rojo, sabor metálico, olor a pescado podrido). Las bacterias ferruginosas pueden bloquear las tuberías
Zinc (Zn)	4 mg/l	O: industrial, corrosión de tuberías NH: se convierte en contaminación agrícola cuando se concentra en el terreno

O: origen; H: efecto sobre la salud; NH: no relacionado con la salud

2.3.3 EL PROYECTO ESFERA 2004

El proyecto Esfera define los estándares a usar en contextos de emergencia (ver Capítulo II). Las normas mínimas Esfera de calidad del agua están basadas en las directivas OMS para el agua potable, aunque incluyen también algunos comentarios y especificaciones útiles para contextos de emergencia. En el Cuadro 5.3 se presentan algunos fragmentos del proyecto Esfera.

Tabla 5.VI: Indicadores Esfera.

Ensayo	Normas mínimas Esfera (2004): Indicadores clave.
Turbidez	5 NTU (para propósitos de desinfección).
Coliformes fecales	0 col. / 100 ml en el punto de suministro (ver nota en Sección 2.3.1).
Cloruros, Fluoruros, Hierro^{++}, Manganeso, Nitratos, Nitritos, Sulfatos, Arsénico	No se detectan efectos negativos para la salud debido al uso temporal de agua contaminada por fuentes químicas o radiológicas. Notas orientativas sobre contaminación química y radiológica.
Productos desinfectantes residuales (cloro)	a) Para suministros por tubería y en cualquier tipo de abastecimiento de agua, en caso de epidemia de diarrea, el agua debe tratarse dejando cloro libre residual = 0,5 mg/l, y turbidez < 5 NTU. b) Notas orientativas sobre la calidad del agua para los centros de salud respecto al cloro y otros desinfectantes residuales.

Cuadro 5.3
Fragmentos de las normas mínimas Esfera sobre la calidad del agua (copiados del proyecto Esfera en castellano).

Norma mínima para la calidad del agua:
El agua deberá tener buen sabor y una calidad suficientemente alta como para beberse y utilizarse en la higiene personal y doméstica sin causar riesgos significativos a la salud.

Indicadores clave

a) Los controles sanitarios indican riesgo escaso de contaminación fecal.

b) No hay coliformes fecales por 100 ml. en el punto de distribución del agua.

c) La población bebe el agua procedente de un punto de suministro protegido o tratado, con preferencia a otras aguas que pueden obtener fácilmente.

d) Se han tomado medidas para minimizar la posibilidad de contaminación posterior al suministro (re-contaminación).

e) En el caso de abastecimiento por tuberías, o de cualquier tipo de suministro en momentos de riesgo o cuando haya una epidemia declarada de diarrea, el agua se trata con desinfectantes, de forma que hay un cloro libre residual en el grifo de 0.5 mg por litro y la turbidez es inferior a 5 NTU.

f) No se detectan efectos significativamente adversos para la salud debidos al consumo a corto plazo de agua contaminada por productos químicos (incluyendo el exceso de productos químicos del tratamiento) o de procedencia radiológica, y el estudio sanitario muestra que no existe probabilidad significativa de que se desarrollen este tipo de efectos.

Notas orientativas

Calidad microbiológica del agua: Las bacterias coliformes fecales (>99% de las cuales son E. coli) son el indicador del nivel de contaminación por desechos humanos o animales en el agua y de la posible presencia de gérmenes patógenos. Si hay coliformes fecales, el agua deberá someterse a tratamiento.

Contaminación posterior al punto de suministro del agua: Se deben tomar muestras del agua en el lugar donde se utiliza (grifos) rutinariamente para vigilar si se ha contaminado en algún grado después de la salida.

Desinfección del agua: La desinfección adecuada del agua requiere que la turbidez sea inferior a 5 NTU.

Contaminación química y radiológica: Estos riesgos deben ser valorados de inmediato llevando a cabo un análisis químico. En las decisiones que se tomen se deberán sopesar los riesgos a corto plazo para la salud pública y los beneficios obtenibles. La decisión de suministrar agua que tal vez esté contaminada a largo plazo deberá basarse en una valoración profesional más a fondo y un análisis de las implicaciones sobre la salud.

Sabor: Aunque el sabor en sí no es un problema que repercuta directamente en la salud (p.ej., hay aguas ligeramente salinas), si el suministro seguro de agua no sabe bien, los usuarios pueden recurrir a fuentes insalubres arriesgando así la salud. El sabor del agua clorada puede constituir también un riesgo de este tipo; en este caso será necesario desarrollar actividades de promoción para asegurarse que se utilicen únicamente fuentes seguras de agua.

Calidad del agua para los centros de salud: Toda el agua destinada a hospitales, centros de salud y centros de nutrición deberá tratarse con un exceso de cloro u otro desinfectante.

3 INDICADORES DE CALIDAD

El método principal para evaluar la calidad del agua en el terreno es realizar estudios sanitarios que incluyan inspecciones sanitarias (ver Sección 3.1) y que estén complementados con análisis bacteriológicos y físico-químicos. El tipo de análisis se elegirá en base a los siguientes objetivos:

– identificar posibles contaminaciones del agua (principalmente bacteriológica);

– definir las características del agua antes del tratamiento, o determinar la eficiencia del tratamiento;

– obtener las características del entorno o del recurso hídrico antes de la explotación;

– obtener las características de un punto de agua estimando los riesgos potenciales.

En la Tabla 5.VII se detallan los principales parámetros a medir para alcanzar estos objetivos.

Tabla 5.VII: Indicadores principales de calidad del agua.

Objetivos	Indicadores
Análisis general del recurso	**Análisis completo del agua**
a) Caracterización de un entorno de agua subterránea	conductividad temperatura pH cationes (calcio, magnesio, potasio, sodio, trazas de elementos metálicos) aniones (haluros, sulfatos, carbonatos, nitratos, alcalinidad) oligoelementos (manganeso, fluoruros, arsénico)
b) Caracterización de un entorno de aguas superficiales	conductividad temperatura turbidez pH cationes (amoniaco líquido, potasio) aniones (nitratos, nitritos) oligoelementos (hierro, manganeso) oxidabilidad y DBO oxígeno disuelto índice biológico
Principales riesgos para la salud	estudio sanitario valoración del riesgo agrícola e industrial: aplicaciones y posibles contaminantes (p.ej. pesticidas, carbamatos, órgano-fosfatados, órgano-clorados, etc.)
Ensayo de contaminación fecal	estudio sanitario análisis bacteriológico
Análisis previo al tratamiento (filtración, cloración, floculación)	análisis bacteriológico demanda de cloro pH turbidez conductividad
Análisis después del tratamiento	análisis bacteriológico cloro residual aluminio (u otro producto residual de la floculación) pH turbidez conductividad
Análisis dirigido a definir la adecuación para el riego	conductividad cationes (calcio, magnesio, sodio)

3.1 Estudios sanitarios y evaluación de riesgos relativos a la calidad del agua

Las encuestas sanitarias sobre los recursos hídricos y sistemas de distribución consideran el estado actual del abastecimiento y los riesgos potenciales de contaminación a largo plazo. Son útiles para identificar qué actuaciones son necesarias y permite a los comités de agua controlar su sistema de suministro.

En las encuestas sanitarias se encuentran tres clases principales de factores de riesgo:

- Factores de riesgo: hay fuentes de acumulación de excrementos en el entorno (p.ej., fosas sépticas, alcantarillas, vertederos de residuos sólidos y ganadería).
- Factores de paso: son los que dejan que la contaminación microbiológica alcance el suministro de agua, pero que no son, en sí mismas, fuentes directas de contaminación (p.ej. filtraciones en tuberías, áreas de captación erosionadas y obras de protección dañadas).
- Factores indirectos: hay factores que facilitan el progreso de los factores de paso, pero que ni permiten directamente la contaminación de la fuente ni son una fuente de contaminación por excrementos (p.ej. falta de vallado, derivación defectuosa del drenaje de aguas superficiales).

Las inspecciones sanitarias pueden realizarse, en función del sistema de agua, siguiendo formularios estandarizados, como se muestra en el Anexo 7. Estos formularios se pueden adaptar a situaciones y contextos específicos.

En la mayoría de los casos, una inspección sanitaria puede, por sí misma, proporcionar una idea razonable de la calidad bacteriológica del agua y de su vulnerabilidad a la contaminación, pero es importante complementar esta información con análisis de calidad del agua. La información sanitaria se puede contrastar con la información de la calidad del agua mediante un análisis de riesgo como se muestra en el Anexo 7. El Anexo 7 presenta el ejemplo de un análisis de riesgo adaptado a partir de las *Directivas de calidad del agua potable, Volumen 3*, OMS, 1997. La puesta en práctica de esta clase de herramientas requiere de análisis y adaptaciones a las condiciones locales.

Un estudio sanitario es un ejercicio amplio que incluye inspecciones sanitarias, así como el análisis de factores tales como la prevalencia de enfermedades, prácticas higiénicas, etc. que puedan tener un impacto en la salud. Los estudios sanitarios ofrecen una aproximación completa y significativa a la situación. Muestran la vulnerabilidad del agua frente a la contaminación y son válidos en todo momento.

Los estudios sanitarios sirven para:

- identificar fuentes de contaminación, para determinar acciones correctoras;
- validar el sistema de suministro de agua;
- valorar la gravedad de la situación analizando los riesgos;
- comparar varias fuentes y sistemas para priorizar acciones;
- identificar problemas recurrentes de cara a la adaptación de estrategias y metodologías.

Cualquier situación que permita a los excrementos entrar en contacto con el agua (directamente, por defecación en el agua, o indirectamente, por arrastre de la escorrentía) representa una fuente potencial de contaminación. Los estudios sanitarios investigan estas situaciones de riesgo (Figura 5.4). Deben realizarse a lo largo de todo el sistema de agua, desde el punto de suministro de agua hasta las viviendas de los usuarios.

3.2 Análisis biológico

El análisis biológico revela la contaminación fecal del agua y proporciona también una verificación valiosa de la eficiencia de las medidas de protección o tratamiento, al tiempo que es una herramienta complementaria a los estudios e inspecciones sanitarias. Es un indicador de la calidad del agua sólo en el momento de la toma de muestra, no manteniendo su validez durante mucho tiempo, por eso tiene valor dentro del contexto del estudio sanitario.

3.2.1 ORGANISMOS PATÓGENOS PRESENTES EN EL AGUA

Los organismos patógenos que se pueden encontrar en el agua son muchos y muy variados, la Tabla 5.VIII presenta la mayoría de ellos. Las infecciones fecal-orales pueden transmitirse tanto por mecanismos en los que al agua es el agente transportador *(water-borne)* como por aquellos relacionados con la escasez del agua *(water-washed)* La transmisión se produce cuando el patógeno está presente en el agua que bebe una persona o animal, que resultan así infectados. Pero estas enfermedades pueden transmitirse además por otras vías que permiten pasar las materias fecales a la boca (por ejemplo, vía alimentos contaminados).

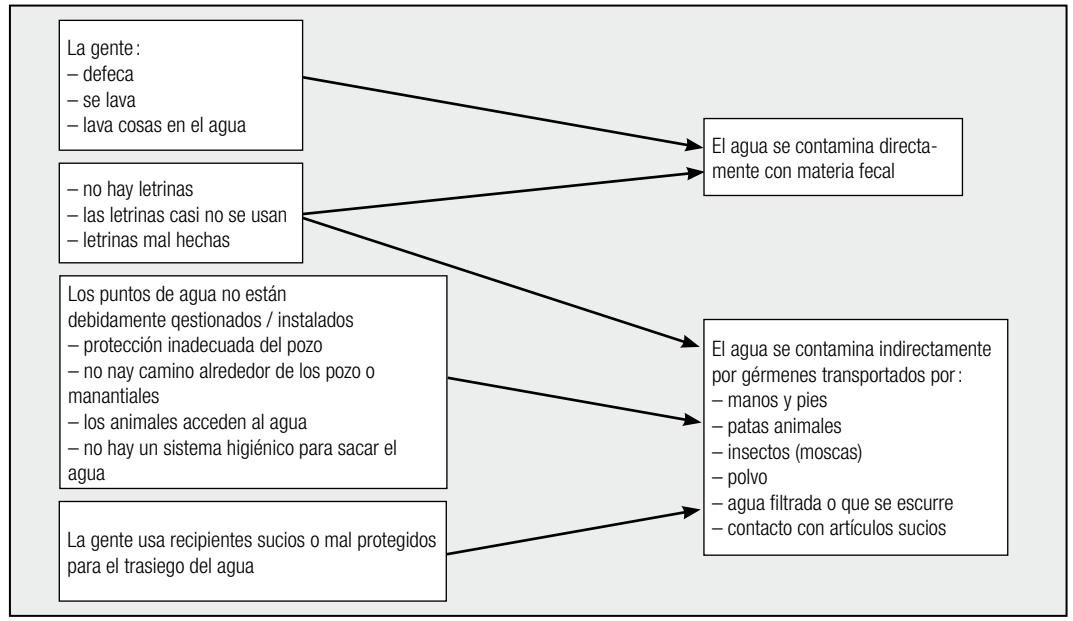


Figura 5.4: Riesgo fecal.

Tabla 5.VIII: Principales infecciones fecal-orales relacionadas con el agua (patógenos existentes o arrastrados).

Infección		Agente patógeno
Diarreas y disenterías	Campylobacter enteritis	Bacteria
	Vibrio C. Cólera	Bacteria
	E. coli diarrea	Bacteria
	Salmonelosis	Bacteria
	Sigelosis (disentería bacilar)	Bacteria
	Yersinosis	Bacteria
	Diarrea rotavirus	Virus
	Giardiasis	Protozoo
	Disentería amébica	Protozoo
	Balantidiasis	Protozoo
Fiebres enteríticas	Tifus	Bacteria
	Paratifus	Bacteria
Poliomielitis		Virus
Hepatitis A		Virus
Leptospirosis		Espiroqueta
Ascariasis		Helminto
Tricuriasis		Helminto

De *Environmental Health Engineering in the tropics, Sandy Cairncross& Richard G Feachem*, 1990.

3.2.2 ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO

En el agua se puede encontrar gran variedad de patógenos (ver Tabla 5.VIII). Analizar directamente los patógenos no es viable (o es viable sólo mediante métodos caros y de larga duración). Como la mayoría de los patógenos del agua provienen de las heces (humanas y animales), el enfoque consiste por tanto en analizar el agua en busca de bacterias que indiquen si hay contaminación fecal humana o animal. A esto se le llama 'indicador bacteriano'. Su presencia en el agua no prueba la presencia de organismos patógenos, pero proporciona una indicación clara de ello.

El indicador bacteriano más claro (según la OMS) que se utiliza en las evaluaciones rutinarias del riesgo de contaminación fecal es el *Escherichia coli*. Esta especie está presente en las heces de los animales de sangre caliente, incluyendo al hombre, y forma parte de la flora intestinal de individuos sanos. Abunda en las heces humanas (hasta mil millones de bacterias/gramo de materia orgánica) y es lo suficientemente persistente como para poder detectarse (la duración de su detección en agua a 20ºC varía desde 1 semana a 1 mes). *E. coli* es la especie más común del grupo de los *coliformes termotolerantes*, o *coliformes fecales* (más del 99% de los coliformes fecales en el agua son *E. coli*). En la práctica, los coliformes fecales se usan de forma habitual para identificar la contaminación fecal.

Los resultados de análisis bacteriológicos no proporcionan información concluyente acerca de la presencia o ausencia de patógenos. Algunos virus y protozoos pueden estar presentes en el agua potable sin que haya coliformes fecales, por ello el agua que no contenga coliformes fecales debe considerarse que es de riesgo bajo, pero no que es totalmente segura. Por otra parte, la presencia de coliformes fecales indica que hay contaminación fecal, pero no prueba la presencia de organismos patógenos, aunque haya fuertes sospechas de ello (ver estimación de riesgos en Sección 2.3.4).

Generalmente, los coliformes fecales no están asociados con enfermedades. No obstante, algunas cepas de *E. coli* (O157:H7) pueden causar enfermedades serias: cepas patógenas de *E. coli* causan infecciones del tracto urinario, bacteriemia, meningitis y enfermedades diarreicas en humanos. Los animales, principalmente el ganado y, en menor medida, pollos, cabras y cerdos, son los transmisores principales de patógenos *E. coli*.

Nota: los coliformes totales son un grupo mucho mayor de bacterias coliformes que están presentes en animales de sangre caliente y fría, y en heces humanas, pero no todos los coliformes tienen origen fecal, y muchos se encuentran en fuentes de agua no tratada en regiones tropicales, especialmente en aguas ricas en materia orgánica. No se identifican sistemáticamente, dado que su presencia no indica necesariamente que haya un riesgo sanitario, pero pueden utilizarse para medir la efectividad de los procesos de tratamiento.

3.3 Características físico-químicas

La elección de los parámetros a identificar se basa en el objetivo del análisis.

3.3.1 ACIDEZ (PH)

El pH (potencial de hidrógeno) mide la concentración de iones H^+ en el agua, indicando si el agua es ácida (pH desde 0 hasta 7) o alcalina (pH desde 7 hasta 14), siendo el valor 7 el neutro.

Es indicativo de un gran número de equilibrios fisicoquímicos y depende de muchos factores, incluyendo el origen del agua (Tabla 5.IX).

Tabla 5.IX: Clasificación del agua según el pH.

pH < 5	Fuertemente ácida (Coca Cola® pH = 3; zumo de naranja pH = 5) presencia de ácidos minerales u orgánicos en aguas naturales.
pH = 7	pH neutro
7 < pH < 8	La mayoría de aguas superficiales (aproximadamente neutras)
5,5 < pH < 8	La mayoría de las aguas subterráneas
pH > 8	Alcalinidad, evaporación intensa

Puede tener influencia directa sobre la toxicidad de otros elementos: el azufre se presenta como SH_2 tóxico en medio ácido, pero en un pH>13 es un precipitado inofensivo de azufre S_2. El pH también tiene influencia en la eficacia de la cloración (se alcanzan mejores resultados en aguas ácidas, con un pH menor de 7) y en la floculación con productos químicos (el sulfato de aluminio es más efectivo con un pH entre 6 y 8).

Los análisis se realizan *in situ* con colorímetro o pH-metro.

Recomendación OMS: pH = 6,5 – 8.

3.3.2 ALCALINIDAD

La alcalinidad corresponde a la medida de los compuestos del grupo de aniones de ácidos débiles capaces de reaccionar con los iones H^+. La alcalinidad del agua es una medida de su capacidad para neutralizar ácidos. Este parámetro juega un papel importante en el efecto amortiguador del agua. Determina la variación del pH con la adición de ácidos débiles o bases, especialmente durante el proceso de tratamiento (floculación y desinfección).

3.3.3 DBO, DQO, OXIDABILIDAD

Estos parámetros permiten estimar la cantidad de materia orgánica presente en el agua.

DBO (demanda biológica de oxígeno) expresa la cantidad de oxígeno necesaria para la descomposición de la materia orgánica biodegradable presente en el agua por medio del desarrollo de microorganismos bajo unas condiciones concretas. Las condiciones que se adoptan normalmente son 5 días (cuando ya tiene lugar una degradación parcial) a 20ºC, en ausencia de luz y aire: esto se conoce como DBO_5. Este análisis se usa ampliamente para controlar los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que proporciona una estimación de la carga de materia orgánica biodegradable. Se expresa en mg/l (mg de O_2 consumidos por litro).

DQO (demanda química de oxígeno) expresa la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica (ya sea biodegradable o no) presente en el agua, utilizando un compuesto oxidante (bicromato potásico). El resultado se expresa en mg/l.

La oxidabilidad es una medida similar a la DQO, que se utiliza cuando hay bajas concentraciones de materia orgánica (DQO < 40 mg /l). El oxidante utilizado es permanganato potásico.

3.3.4 CONDUCTIVIDAD Y SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

La mayoría de la materia disuelta en el agua se presenta en forma de iones cargados eléctricamente cuya concentración depende del pH y del EH (potencial redox) del agua, y de la composición y concentración de los diferentes aniones o cationes que pueden reaccionar para formar sólidos inertes. Los sólidos disueltos totales (SDT) se definen como la cantidad de materia disuelta en agua, y dependen principalmente de la solubilidad de las rocas y de los suelos minerales que están en contacto con aguas que presentan rangos de pH y EH normales. Por ejemplo, el agua que fluye a través de calizas o yesos disuelve calcio, carbonatos y sulfatos, produciendo así altos niveles de sólidos totales disueltos.

La conductividad es una medida de la capacidad del agua para permitir el paso de una corriente eléctrica y depende de la presencia de sólidos disueltos. Si aumenta el nivel de SDT, la conductividad también aumentará. Cambios en la conductividad pueden ser indicadores de contaminación. Por ejemplo, la contaminación de un suministro de agua con aguas residuales puede aumentar la conductividad debido a la presencia de cloruros, fosfatos y nitratos. El uso intensivo de fertilizantes tiene consecuencias similares.

La conductividad también aumenta con la temperatura del agua, por eso las medidas deben estandarizarse a temperaturas de 20 ó 25 ºC. Por lo general los aparatos de medida utilizados en terreno realizan automáticamente esta conversión. Las diferencias de conductividad, así como las variaciones de temperatura, pueden indicar zonas de contaminación, mezcla o infiltración. La conductividad de las aguas superficiales está normalmente por debajo de 1500 μs/cm. En la práctica, los problemas de aceptación por parte de los usuarios aparecen al sobrepasar los 1500 μs/cm (Tabla 5.X), pero este

factor depende en gran medida de los hábitos de la población afectada (el valor de 1.5 g/l de SDT, equivalente a aproximadamente 2000 µs/cm, que es el valor estándar para el agua potable en Francia). La conductividad se mide en micro-siemens por centímetro (µs/cm) y los SDT en miligramos por litro; la relación entre estos dos parámetros no es lineal.

Los análisis se deben hacer *in situ* con un conductímetro.

Recomendación de la OMS: <1000 mg/l (~1400 µs/cm).

Tabla 5.X: Clasificación del agua en función de su conductividad χ.

χ (µS/cm)	Tipo de agua
0,005	agua desmineralizada
10 < χ < 80	agua de lluvia
30 < χ < 100	agua ligeramente mineralizada, entorno granítico
300 < χ < 500	agua bastante mineralizada, entorno de carbonatos
500 < χ < 1 000	agua mineralizada
1 000 < χ < 1 500	agua altamente mineralizada
1 500 < χ < 3 000	agua salobre
χ > 20 000	agua marina

3.3.5 OXÍGENO DISUELTO

La presencia de materia orgánica afecta al oxígeno disuelto. El agua absorbe oxígeno hasta el punto en el que su presión parcial en el agua y en el aire está en equilibrio. La solubilidad del oxígeno en el agua depende de la presión atmosférica (y por lo tanto de la altitud) y de la temperatura y mineralización del agua: la saturación con O_2 disminuye cuando aumentan la temperatura y la altitud.

Este parámetro se usa fundamentalmente para las aguas superficiales. A nivel del mar, a 20 ºC, la concentración de oxígeno en equilibrio con la presión atmosférica es 8,8 mg/l de O_2, o 100% de saturación. Las aguas muy aireadas (p.ej. en torrentes) están generalmente sobresaturadas con oxígeno, mientras que las aguas con materia orgánica degradable por microorganismos están subsaturadas. Una presencia significativa de materia orgánica en la masa de agua, por ejemplo, permite que los microorganismos se desarrollen y consuman oxígeno. El oxígeno disuelto es por tanto un parámetro muy útil en el diagnóstico biológico de un entorno acuático. Los análisis se deben hacer *in situ*.

3.3.6 DUREZA

El calcio y el magnesio disueltos son los responsables de la dureza del agua, que se expresa generalmente en mg/l $CaCO_3$, o grados de dureza.

1 grado francés de dureza (TH) = 10,3 mg/l $CaCO_3$

La dureza nunca supone un problema para el consumo humano, pero una dureza elevada puede causar incrustaciones en las tuberías y aguas de una dureza muy baja (suave) pueden ser corrosivas.

Límite inferior del estándar AEP: 15 TH (155 mg/l $CaCO_3$)
Recomendación OMS: de 100 a 300 mg/l.

3.3.7 TEMPERATURA

Las variaciones de la temperatura del agua dan indicaciones sobre al origen y circulación del agua. Normalmente la temperatura del agua está ligada a otros parámetros, especialmente a la conductividad y al pH (Cuadro 5.4).

Nota: el análisis debe ser realizado *in situ* con un termómetro.

3.3.8 TURBIDEZ

La turbidez es el aspecto nebuloso que tiene el agua por la presencia de partículas en suspensión (residuos orgánicos, arcillas, organismos microscópicos, etc.). Los problemas que causa la turbidez a los usuarios están relacionados con la aceptación. Una turbidez elevada permite que los microorganismos se fijen (adsorción) a las partículas en suspensión: la calidad bacteriológica del agua turbia es por lo tanto sospechosa en el sentido de que una gran turbidez también puede proteger a los microorganismos fijados a las partículas de la desinfección.

La turbidez es la mayor dificultad para la cloración ya que los patógenos asociados con partículas están protegidos de la oxidación. Además es posible la formación de compuestos organoclorados que son tóxicos. Para permitir una cloración efectiva, el Proyecto Esfera recomienda una turbidez inferior a 5 NTU.

Se recomienda realizar los análisis *in situ* con un turbidímetro.

Unidades: 1NTU (unidad nefelométrica de turbidez) = 1 JTU (Jackson TU) = 1FTU (Formazin TU).

Recomendación OMS: <5 NTU y <0,1 NTU para una desinfección efectiva.

Cuadro 5.4
Temperatura del agua subterránea.

Gradientes de temperatura
Generalmente se considera que el gradiente de temperatura geotérmico es de 1ºC cada 33m. Por tanto, cuanto más profunda sea el agua subterránea, más caliente estará.

Por lo general, se puede establecer la siguiente clasificación:

- Profundidad entre 2 y 5 m: zona de variación diaria de la temperatura.
- Profundidad entre 15 y 40 m: zona de variación anual de la temperatura.
- Profundidad mayor de 40 m: zona de temperatura constante.

Clasificación
Casos particulares, como los efectos volcánicos y termales, tienen una influencia significativa en la temperatura del agua. Se establecen tres tipos de fuentes de agua en función de la diferencia entre la temperatura media anual del agua y la del aire:

- $t_{agua} > 4$ °C más que t_{aire} – fuente termal;
- $t_{agua} = t_{aire}$ – fuente normal;
- $t_{agua} > 4$ °C menos que t_{aire} – fuente hipo-termal.

3.4 Iones principales

Los elementos y/o compuestos más comunes en el agua se denominan iones principales. En general estos elementos no suelen estar relacionados con problemas públicos de salud (excepto los nitratos, ver Tabla 5.IV). A continuación se muestran los estándares franceses (AEP), ya que la mayoría de los iones principales no aparecen en las directivas de la OMS.

Cationes (carga positiva): Calcio (Ca^{2+}), Magnesio (Mg^{2+}), Sodio (Na^{+}), Potasio (K^{+}), Hierro (Fe^{2+}, Fe^{3+}), Manganeso (Mn^{2+}), Amonio (NH_4^{+}).

Aniones (carga negativa): Cloruros (Cl^{-}), Sulfatos (SO_4^{2-}), Nitratos (NO_3^{-}), Nitritos (NO_2^{-}), Fosfatos (PO_4^{3-}).

3.4.1 CALCIO Y MAGNESIO

El calcio Ca^{2+} y el magnesio Mg^{2+} están presentes en rocas cristalinas y sedimentarias (calcita ($CaCO_3$), dolomita $CaMg(CO_3)_2$, magnesita ($MgCO_3$), yeso ($CaSO_4$), apatito ($Ca_5(PO_4)_3$) y fluorita CaF_2, además de areniscas y rocas detríticas con cemento carbonatado): son sustancias muy solubles, presentes en muchos tipos de agua. Su concentración y la relación Ca/Mg proporciona información

sobre el origen del agua y la naturaleza del yacimiento. El ión calcio es sensible al fenómeno de intercambio de bases. La dureza total es la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+}. La dureza carbonatada es la concentración de bicarbonato/carbonato (HCO_3^-, CO_3^{2-}).

Debido a su efecto laxante, los estándares franceses AEP establecen un límite máximo para Mg de 50 mg/l. No hay estándar AEP para el Ca.

3.4.2 CLORUROS

El ión Cl^- está presente en pequeñas cantidades en la Tierra. La principal fuente de cloro en el agua proviene de la disolución de rocas sedimentarias depositadas en un entorno marino que no han sido lavadas completamente y de rocas evaporitas. También son orígenes posibles de cloro las aportaciones de agua marina (donde el Cl^- está presente en grandes cantidades) y por el fenómeno de evaporación en cuencas endorreicas (cuando menor es la distancia al mar, más significativo es el aporte realizado por precipitación). Las contribuciones de origen humano (p.ej.: la orina) son menores.

El límite superior del estándar AEP es 200 mg/l.

Recomendación OMS (sabor): < 250 mg/l.

3.4.3 HIERRO

La presencia de hierro en aguas subterráneas tiene diversos orígenes: en forma de piritas (FeS_2), que viene asociada generalmente con rocas sedimentarias depositadas en ambientes reductores (margas, arcillas) y rocas metamórficas. Generalmente se encuentra en altas concentraciones en el agua de rocas base en descomposición. ACF da los siguientes valores para concentraciones en aguas subterráneas:

– Zonas sedimentarias (Camboya, 1998): 3-15 mg/l

– Roca base (Uganda, 1996): 0,5 – 1,5 mg/l

Cuando el hierro está presente en su forma reducida (ferroso, Fe^{2+} ó Fe(II)), el oxígeno atmosférico lo oxida y el hierro precipita en su forma oxidada (férrico, Fe^{3+} ó Fe(III)) al bombear el agua. Esto produce manchas de óxido en las losas de los pozos perforados o excavados y puede ser que los usuarios no encuentren esta agua aceptable, porque mancha la ropa al lavarla y tiene un sabor fuerte al beberla directamente o en bebidas calientes. El tratamiento para su eliminación consiste en la aireación del agua para oxidar el hierro ferroso a férrico que precipita y puede ser eliminado por filtración.

El estándar AEP es 0,2 mg/l Fe máx. (se recomienda el análisis in-situ).

Recomendación OMS: <0,3mg/l.

3.4.4 NITRATOS Y COMPUESTOS DE NITRÓGENO

Los nitratos (NO_3^-) forman parte del ciclo del nitrógeno, ver Figura 5.5. La principal fuente de nitrógeno es la atmósfera. El nitrógeno en el agua natural proviene fundamentalmente de la lluvia (1-3 mg/l) y de la escorrentía del suelo.

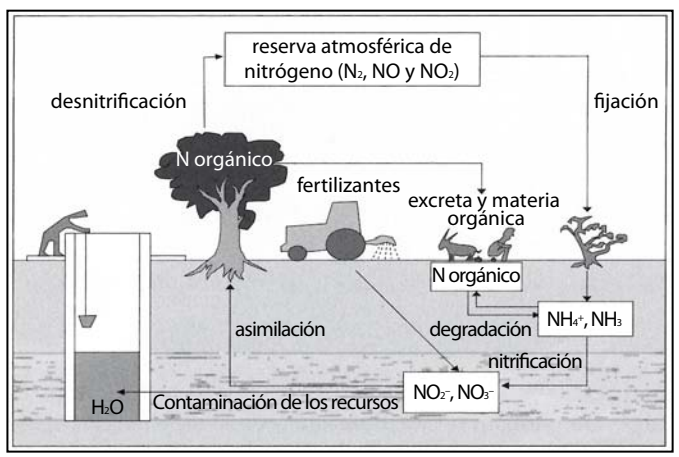


Figura 5.5: El ciclo del nitrógeno.

Los microorganismos descomponen la materia orgánica presente en el suelo y el nitrógeno mineral resultante se transforma en nitratos por la acción de bacterias aeróbicas. Esta transformación se llama nitrificación y consta de dos etapas: nitritación, que produce nitritos (NO_2^-), y nitratación, que transforma los nitritos en nitratos (NO_3^-). Si las condiciones ambientales lo permiten las bacterias anaeróbicas utilizan los nitratos como una fuente de energía, y lo transforman en nitrógeno gaseoso. Los nitratos también pueden adsorberse y fijarse sobre arcillas y humus.

El contenido de nitratos en el suelo, y después en el agua, está relacionado directamente con la cantidad de materia orgánica y con las condiciones ambientales. También son significativas las contribuciones realizadas por las actividades humanas (uso de fertilizantes nitrogenados y estiércol). Del mismo modo, los residuos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, letrinas y fosas sépticas aportan materia orgánica capaz de producir nitratos.

Los nitratos y nitritos se consideran peligrosos para la salud. Los nitratos ingeridos con el agua son reducidos a nitritos en los intestinos y se adhieren a la hemoglobina, disminuyendo así la transferencia de oxígeno: esto se conoce como metahemoglobinemia y afecta sobre todo a niños (especialmente a los menores de 6 meses).

El rango de concentraciones de nitratos en agua es muy amplio. Las aguas subterráneas, con un ambiente que facilite la desnitrificación, pueden estar libres de nitratos, mientras que las aguas contaminadas por un elevado aporte de materia orgánica, fertilizantes o aguas residuales pueden contener hasta varios centenares de mg NO_3 /litro.

Los estándares AEP son: 50 mg/l máx. para el NO_3^- y 0,1 mg/l máx. para NO_2^-.

Las directivas OMS (relacionadas con la salud) son 50 mg/l (nitratos) y 3 mg/l (nitritos).

3.4.5 FOSFATOS

Las principales fuentes de fosfatos son el lavado de rocas (en entornos carbonatados), la contaminación fecal, la contaminación doméstica (detergentes) y la contaminación agrícola. No son tóxicos, pero pueden dar problemas de aceptación (sabor y color). También pueden propiciar la proliferación de gérmenes (aportando sales nutrientes) y fundamentalmente son útiles como indicadores de contaminación fecal.

El límite máximo según los estándares AEP es 5 mg/l de P_2O_5.

3.4.6 SODIO Y POTASIO

- El sodio (Na^+) es muy abundante en la Tierra, y se encuentra en rocas cristalinas y sedimentarias (arenas, arcillas, evaporitas). La halita, o sal de roca, es la sal común (NaCl), y es altamente soluble en agua. Por el contrario, el sodio no se encuentra generalmente en rocas carbonatadas (Tabla 5.XI). Las arcillas pueden estar saturadas de Na^+ por el proceso de intercambio de bases.
- El potasio (K^+) es bastante abundante en la Tierra, pero no en el agua. Es fácilmente absorbido y recombinado en el terreno (especialmente en las arcillas). Proviene de rocas cristalinas (pero en minerales menos susceptibles de descomponerse que los que contienen sodio), sedimentos de la evaporación (silvinita) y arcillas (Tabla 5.XI).

Los estándares AEP para sodio y potasio son 150 mg/l Na y 12 mg/l K.

La recomendación OMS: <200 mg/l Na.

Tabla 5.XI: Escala de concentración de sodio y potasio.

Contexto	Na^+ (mg/l)	K^+ (mg/l)
Aguas subterráneas en formaciones calcáreas	1 < C < 4	0,3 < C < 3
Aguas subterráneas en formaciones cristalinas	2 < C < 15	1 < C < 5
Agua de mar	C > 10 000	380

3.4.7 SULFATOS Y ACIDO SULFHÍDRICO

El origen natural de los sulfatos son el agua de lluvia y la disolución de rocas sedimentarias evaporíticas, especialmente yesos ($CaSO_4$), así como piritas (FeS_2) y, menos habitualmente, rocas ígneas (galenas, blendas, piritas). Su presencia debido a la actividad humana se relaciona con el uso de fertilizantes químicos y detergentes. En general, la presencia de sulfatos en el agua natural no contaminada indica la presencia de yeso o piritas. En condiciones anaeróbicas, los sulfatos se transforman por la acción de bacterias en ácido sulfhídrico que es tóxico y corrosivo. La presencia de azufre en el agua puede originar problemas de aceptación. A bajas concentraciones, el ácido sulfhídrico (SH_2) es un gas reconocible por su olor a huevos podridos. A altas concentraciones, no huele y se vuelve muy peligroso si se inhala, produciendo graves accidentes frecuentemente entre trabajadores de las alcantarillas y cuando hay yeso puede causar problemas en los pozos (Laos, ACF 1996).

El límite máximo según los estándares AEP es 250 mg/l SO_4.
Recomendación OMS:<250 mg/l para SO_4.

3.5 Oligoelementos y minerales tóxicos

3.5.1 ARSÉNICO

La presencia natural de arsénico se encuentra principalmente en entornos sedimentarios recientes asociados con grandes deltas (Burkina Faso, Camboya, India, Bangladesh, Nepal, Vietnam, Zimbabwe). Otras fuentes de arsénico son los insecticidas y los residuos de industrias químicas. El arsénico es un veneno acumulativo (provoca cáncer de piel, cáncer de hígado, leucemia). Está presente en el agua en forma reducida As (III), que es soluble y tóxico, o en la forma oxidada As (V), que es menos soluble y no es tóxico.

El As está presente principalmente en las aguas subterráneas: en la cuenca aluvial del Mekong camboyano, las concentraciones más altas en el acuífero se encuentran entre 20 y 70 m de profundidad: las capas superiores del acuífero contienen menos arsénico libre (por la oxidación), así como las capas más profundas (por la precipitación). Esta variación vertical depende de las condiciones geológicas e hidrológicas, pero debe ser comprobada para encontrar recursos alternativos de agua en proyectos de largo plazo.

Las concentraciones de arsénico pueden variar con las estaciones (inundaciones, estación seca) y también presentan una enorme variabilidad geográfica (en el mismo pueblo, algunos pozos podrían estar contaminados y otros no). Las enfermedades causadas por arsénico vienen relacionadas con el uso continuado del agua durante 10 ó 15 años.

El valor de las directivas de la OMS es de 0,01 mg/l máximo (algunos estándares nacionales pueden ser muy diferentes, p.ej.: Camboya: 0,05 mg/l). Se recomienda el análisis in situ.

3.5.2 CLORO

El cloro es un producto para la desinfección del agua. Pruebas de laboratorio muestran que tomando cloro en concentraciones de 5 mg/l durante 2 años no causa problemas de salud; por encima de este nivel, todavía no hay evidencia de que se produzcan problemas, pero la OMS propone unas directivas relacionadas con la salud. El umbral para la detección del sabor a cloro es de 0,3-0,6 mg/l y el umbral del olor es de 2 mg/l.

Valor de las directivas OMS: 5 mg/l.

3.5.3 FLÚOR

Las rocas sedimentarias son la principal fuente de flúor en las aguas subterráneas (por ejemplo, fluoroapatito en cuencas fosfatadas), pero también lo son las rocas ígneas (granitos) y las vetas. Las áreas termales también están frecuentemente implicadas en el aporte de fluoruros al agua. El tiempo de contacto de las aguas subterráneas con las rocas y las interacciones químicas determinan la concentración de F^- libre. Aunque estas concentraciones sean extremadamente variables, pueden alcanzar valores de 5 a 8 mg/l en cuencas sedimentarias (Senegal, Travi). El flúor es un elemento esencial para la prevención de caries en los dientes (pasta de dientes fluorada). Sin embargo, la toma regular de agua con una concentración de flúor mayor de 1,5 mg/l puede provocar problemas como fluorosis en huesos y dientes (color marrón del diente que puede causar su pérdida): los niños son particularmente vulnerables a este problema.

El valor de las directivas OMS es 1,5 mg/l máximo de flúor (F^-).

3.5.4 PLOMO

El plomo se halla frecuentemente en las rocas (galena) y en la industria química (explosivos) y es un veneno acumulativo, que causa desórdenes neuro-psicológicos y enfermedades cardiovasculares. Se puede analizar con un colorímetro.

El valor de las directivas OMS es 0,01 mg/l máximo. Se recomienda análisis in situ.

3.5.5 MANGANESO

La presencia de manganeso en aguas subterráneas se debe principalmente a la pirita (origen natural) o a mejoras del suelo (origen agrícola). La presencia en el agua potable puede causar problemas de aceptación (color oscuro del agua y sabor). Sobre 0,1 mg/l, el manganeso mancha (como el hierro), y se pueden formar depósitos (incrustaciones) negros en las tuberías de agua. Ciertos organismos concentran manganeso, que producen problemas de turbidez y sabor.

El límite superior de los estándares AEP es 0,05 mg/l. Se recomienda análisis in situ.
Directivas OMS 2003 (salud): 0,4 mg/l.

3.5.6 OTROS ELEMENTOS

Otros elementos como el cadmio, selenio, bromo, etc. pueden presentar riesgos serios para la salud humana. Su análisis es lento, laborioso y caro, y por lo general sólo se analizan excepcionalmente en lugares donde trabaja ACF.

3.6 Índices biológicos

Algunas informaciones importantes que no se detectan en los análisis químicos se pueden conocer utilizando indicadores biológicos, que caracterizan un entorno acuoso en función de los organismos encontrados.

Cada organismo vivo tiene unas necesidades ambientales particulares. Los entornos acuosos se colonizan por lo tanto por poblaciones de animales y plantas con estructuras que guardan un cierto equilibrio. Si el entorno se altera, se puede observar una modificación en la estructura de estas poblaciones.

– Los vertebrados (ranas y sapos) prefieren aguas limpias y no pueden sobrevivir en aguas con poco oxígeno.

– La muerte masiva de peces indica una reducción severa de oxígeno (carga orgánica importante) o contaminación tóxica.

– Un gran número de plantas y algas (a menudo de un color verde oscuro) indica que hay un alto nivel de nutrientes en agua: contaminantes tales como fertilizantes, residuos industriales, aguas residuales.

– Un agua que parece ‘sopa de guisantes’ (verde claro, sucia) contiene algas azul-verdosas que segregan sustancias que hacen que el agua no sea apta para beber.

– La presencia de hongos de aguas residuales indica contaminación orgánica elevada.

4. ANÁLISIS DEL AGUA

Un análisis adecuado del agua implica tres etapas: toma de muestras, análisis y presentación de resultados/interpretación.

4.1 Toma de muestras

4.1.1 MÉTODO

La toma de muestras es fundamental, porque puede afectar al análisis. Se deben seguir procedimientos estrictos, que proporcionen muestras representativas de lo que se va a analizar. El protocolo de la toma de muestras dependerá del tipo de análisis. Ver Sección 4.1.4 y Anexo 7C para más detalles.

4.1.2 MATERIALES DE LOS ENVASES

– Se recomienda el polietileno para toda clase de muestras. Aunque es relativamente permeable a los gases y el cristal puede ser preferible para la toma de muestras y conservación de aguas con elevado contenido en gases, el polietileno es menos frágil que el cristal y la difusión de gases es lenta.

– El cloruro de polivinilo, que se usa para bolsas estériles y desechables de muestras, tiene la desventaja de que si las bolsas se exponen durante mucho tiempo a la luz liberan cloro. Las bolsas estériles son frágiles y deben protegerse durante el transporte de las muestras.

– Los envases de cristal son adecuados en la mayoría de los casos. Las botellas de cristal oscuro deben usarse para amortiguar la sensibilidad a la luz de las muestras.

4.1.3 CAMBIOS Y CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS

En mayor o menor medida, el hecho de tomar una muestra y retirarla de su entorno natural la modifica inevitablemente, en función de los parámetros que la afectan. Algunos de ellos pueden considerarse estables en la escala de tiempo en el que trabajamos, pero otros cambian muy rápidamente (p.ej., procesos de oxidación, cambios químicos): temperatura, conductividad, pH, gases disueltos, nitratos, sulfatos, arsénico y minerales tóxicos.

Un cambio en la temperatura provoca una modificación en las constantes de equilibrio de los elementos en solución. Para que se establezcan nuevos equilibrios a esa nueva temperatura, pueden ocurrir varias reacciones químicas, como la precipitación de sales, la disolución de gas, etc. No obstante, una temperatura baja (de unos 4ºC) ralentiza suficientemente las reacciones. El contacto con el aire y la descompresión pueden originar también de cambios en la solución.

Cada tipo de ión contribuye a la conductividad total de una solución y cualquier modificación de los equilibrios químicos, y por tanto a las proporciones relativas de los elementos disueltos, provoca cambios en la conductividad. Cuanto más alta sea la temperatura del agua, más CO_2 disuelto se liberará. Una pérdida de CO_2 provoca la precipitación de carbonatos, que modifica el pH. Los nitratos y sulfatos pueden reducirse por la actividad bacteriana después de la fase de muestreo.

En condiciones adversas, los cambios pueden tener lugar en pocas horas. Los conservantes impiden estos cambios, pero algunas veces no son prácticos en el terreno desde el punto de vista logístico (p.ej., ácidos concentrados). La Tabla 5.XII relaciona ejemplos de recipientes y conservantes a utilizar para determinar los parámetros principales.

Como regla general, es mejor analizar las muestras lo antes posible tras la toma. En la Sección 4.1.4 se dan recomendaciones específicas para diversas situaciones en el terreno.

4.1.4 RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS

4.1.4.1 MUESTRAS PARA ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS Y DBO

Las muestras para el análisis bacteriológico y de la DBO deben tomarse y conservarse siempre en envases estériles. Se aconseja el uso de bolsas desechables estériles. Los análisis biológicos se realizan como máximo 6 horas después de tomar las muestras si se han mantenido frías (4ºC), o una hora después si se han mantenido a temperatura ambiente, en la oscuridad. Se recomienda encarecidamente el uso de un mini-laboratorio (p.ej. un kit DelAgua), aunque se puedan realizar análisis biológicos en el terreno.

Recomendaciones específicas para la toma de muestras en análisis bacteriológicos:

1. Utilizar envases extremadamente limpios para tomar muestras (ver Sección 4.1.2), lavar las manos con jabón.
2. Enjuagar el envase varias veces con el agua que se va a analizar.
   a– si se usa una bomba, que funcione bastante tiempo como para renovar y enjuagar los tubos de admisión y descarga así como el cuerpo de la bomba.
   b– si se toma del grifo, limpiarlo (con alcohol o jabón), dejar correr el agua durante 30 segundos aproximadamente, flambearlo con una almohadilla empapada en alcohol y dejarlo correr de nuevo por 30 segundos.
3. Llenar siempre el recipiente hasta el borde y taparlo de forma que no haya aire sobre el agua, que podría inducir la emisión de algún gas disuelto y modificar el equilibrio químico en la solución.
4. Poner una etiqueta identificativa en la botella (o bolsa estéril).
5. Tomar tres muestras sistemáticamente para el análisis bacteriológico (dada la variabilidad de los resultados en este tipo de análisis).
6. Registrar resultados en un cuaderno.
7. Guardar la muestra en una nevera (a 4ºC, 6 horas máximo antes del análisis).

Tabla 5.XII: Conservación de muestras.

Análisis	Envase de muestra	Conservante	Filtración necesaria	Tiempo máx. antes del análisis
Acidez o alcalinidad	Plástico o Cristal	Ninguno	Sí	14 días
DBO	Plástico o Cristal	Ninguno	No	6 horas
Cloruros	Cristal	Ninguno	Sí	28 días
Cloro (residual)	Plástico o Cristal	Ninguno	No	*In situ*
Conductividad, pH	Cristal	Ninguno	No	28 días / *in situ*
Fluoruros	Plástico	Ninguno	Sí	28 días
Dureza	Cristal	HNO_3 hasta pH <2	Sí	6 meses
Metales, Oligoelementos	Plástico	HNO_3 hasta pH <2	Sí	6 meses
Nitrógeno amónico	Cristal	H_2SO_4 hasta pH <2	Sí	28 días
Nitrógeno de nitratos & nitritos	Cristal	H_2SO_4 hasta pH <2	Sí	28 días
Nitratos & nitritos	Cristal	No	Sí	48 horas
Fosfatos, sulfatos	Cristal	No	Sí	28 días
Sulfuros	Cristal	No	Sí	7 días

4.1.4.2 PARÁMETROS QUÍMICOS.

La temperatura, pH, conductividad, alcalinidad, cloro libre residual y oxígeno disuelto deben medirse sistemáticamente *in situ.*

Si se requiere una compleja preparación de la muestra para el transporte hasta el laboratorio para ciertos análisis químicos (por ejemplo, para As, metales, minerales tóxicos y oligoelementos), es aconsejable que estos análisis se lleven a cabo *in situ*, para evitar las complicaciones.

Los análisis deben realizarse lo antes posible, antes de 72 horas desde la toma de muestras. Si no es posible, las muestras deben preparase para su conservación (Tabla 5.XII); la muestra se pasa a través de un filtro 0,45 µm (también se puede utilizar el sistema de filtración de los análisis bacteriológicos), y después se debe acidificar hasta un pH cercano a 2 (ver Tabla 5.XII). Las muestras pueden guardarse durante 3 meses a temperatura ambiente, o mejor aún a 4ºC aproximadamente.

4.2 Métodos de análisis

4.2.1 MÉTODOS

4.2.1.1 ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO

El análisis bacteriológico consiste en la determinación de la presencia de *coliformes fecales*, como indicador de la contaminación fecal (ver Sección 3.2.2). El método utilizado más corrientemente en el terreno es la filtración a través de una membrana y el desarrollo de colonias de bacterias en un ambiente favorable. Es relativamente fácil de realizar en el terreno, y consiste en:

a) Filtrar un volumen conocido de agua a través de una membrana porosa, diseñada para retener las bacterias (0,45 µm).
b) Colocar esta membrana en condiciones que permitan el desarrollo de coliformes termotolerantes (fecales), pero no de otras bacterias: 16 – 24 horas de incubación a 44ºC en un ambiente nutritivo favorable para la multiplicación de los coliformes termotolerantes. La incubación a 37ºC se utiliza para la identificación de todos los coliformes.
c) Después de 16-24 horas, las colonias formadas por las bacterias son visibles a simple vista, con un color específico (Figura 5.6) y pueden contarse. Los resultados se expresan en número de colonias por 100 ml de muestra de agua.

El tiempo y la temperatura para la incubación, así como el color desarrollado por cada tipo de colonias de bacterias están muy relacionados con el tipo del medio de cultivo, que puede ser más o menos selectivo. Observar siempre las instrucciones con cada producto utilizado. Las características de los medios de cultivo más comunes se muestran en la Tabla 5.XIII.

Nota: los análisis bacteriológicos se realizan generalmente en el terreno (con el kit DelAgua), pero los resultados son muy variables frecuentemente (por lo tanto se deben analizar tres muestras en cada sitio) y el protocolo para un análisis adecuado requiere un ambiente perfectamente aséptico.

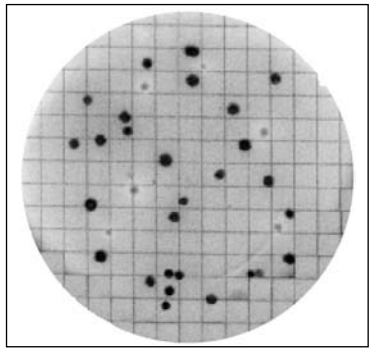


Figura 5.6: Ejemplo del resultado de un análisis bacteriológico.

Tabla 5.XIII: Características de los medios de cultivo más corrientes usados para detectar coliformes por incubación.

Producto (caldo de cultivo)	Proceso de reactivación	Proceso de incubación	Detección	
			E. Coli	Coliformes fecales
Sulfato de laurilo	3 a 4 horas a temperatura ambiente	44 °C +/– 0,5 °C durante 16-18 horas		Amarillo
Millipore MFC	4 horas a 35 °C +/– 0,5 °C	44,5°C+/– 0,2 °C durante 14-16 horas		Azul
Coliscan – MF	20-30 min a temperatura ambiente	35 °C +/– 0,5 °C durante 18-24 horas	Negro	Gris-azulado, rojo-rosado, crema
Coliscan Easygel	20-30 min a temperatura ambiente	35 °C +/– 0,5 °C durante 24 horas	Negro-violáceo	Azul claro, azul verdoso, blanco

Equipo para el análisis bacteriológico

El kit DelAgua (ver Anexo 7D) se ha generalizado como incubadora para análisis bacteriológicos. ACF usa un kit DelAgua modificado (kit con una toma integrada de 220 V y una supletoria de 12V en lugar de una batería interna). El medio de cultivo utilizado es el Millipore MFC (membrana fecal coliforme) preparado (listo para usar), que desarrolla un color determinado con coliformes fecales. ACF también usa bolsas de plástico desechables para la toma de muestras estériles.

Muchos países (India y Pakistán entre ellos) fabrican incubadoras muy precisas (con control de temperatura y alarma electrónica), de alta capacidad (cerca de 100 placas Petri) y a precios competitivos.

Neveras y cajas frías

Son fundamentales para la conservación tanto de las muestras como de los caldos de cultivo.

4.2.1.2 ANÁLISIS QUÍMICO

Existen varias técnicas para realizar análisis químicos (ver Tabla 5.XIV), que se usan según el objetivo que se persigue:

– Las técnicas colorimétricas o las interpretaciones visuales (p.ej. las tiras de pH) no son muy exactas, pero son adecuadas en situaciones donde la rapidez y la simplicidad son más importantes que la precisión.

– Los análisis con sondas electroquímicas específicas son sencillos, pero las sondas son frágiles, caras y tienen una vida útil limitada (≈ 1 año).

– De cara a obtener resultados precisos para los iones principales, es recomendable contactar con un laboratorio (o universidad). También puede hacerse para contrastar los análisis realizados con equipos sobre el terreno (validación de un riesgo específico de salud identificado con un colorímetro o fotómetro, p.ej. en el caso de presencia significativa de arsénico o fluorita).

Tabla 5.XIV: Métodos in situ y material para análisis del agua.

Análisis químico	Método de tritración digital (tipo HACH) o por tabletas	Método colorimétrico/ comparador (Palintest, Lovibond)	Método con papel indicador	Medida con sonda electroquímica portátil
Calcio/dureza	X			
Magnesio	X			
Hierro		X		
Manganeso		X		
Plomo		X		
Cromo		X		
Cinc		X		
Cobre		X		
Cloruros Cl^-	X	X		
Sulfatos		X	X	
Flúor		X		
Nitratos		X	X	
Nitritos		X	X	
Amoníaco		X	X	
Fosfatos		X		
Cianuro		X		
Arsénico		X		
Alcalinidad	X			
Cloro Cl_2		X		
Características físico-químicas				
pH		X	X	X
Potencial redox				X
Conductividad				X
Temperatura				X

Equipo básico para los análisis físicos y químicos:

Medidor de cloro y pH (pooltester), kits de bolsillo: método colorimétrico, se disuelven unas pastillas en la muestra y se lee el color resultante en una escala de colores (útil para los elementos principales).

Bastón medidor electrónico: equipo electrónico portátil pequeño que da una lectura digital cuando se sumerge el electrodo en la muestra. Requiere una calibración regular (pH, conductividad). Este equipo es barato, muy fácil de utilizar y robusto, pero de precisión generalmente limitada.

Tubo de turbidez (nefelómetro): se llena el tubo con la muestra y se deja salir el agua hasta que se pueda ver el círculo de referencia marcado en el fondo del tubo.

Comparador de discos: se disuelven unas pastillas en un tubo pequeño con muestra y se compara su color con los de una escala graduada (con discos intercambiables, pH).

Fotómetro: método colorimétrico. Instrumento electrónico con una pantalla digital. Las pastillas se disuelven en la muestra y la concentración de color se mide electrónicamente. Los instrumentos utilizan muestras en blanco y calibradas (F, As).

Nota: los equipos de análisis del terreno (medidor de pH, GPS) pueden considerarse peligrosos en ciertas situaciones. El personal debe adoptar un comportamiento adecuado a las circunstancias y ser cuidadoso en el uso de este material, especialmente en los puestos de control de áreas conflictivas.

4.2.2 UTILIZACIÓN DEL MINI-LABORATORIO

Un mini-laboratorio puede ser una habitación pequeña (3 m x 3 m) que contenga todos los equipos necesarios para los análisis químicos y bacteriológicos. Puede estar adjunta a una instalación existente en el caso de programas a largo plazo. Se usa para todo tipo de análisis que no se hagan sobre el terreno y para guardar con seguridad los productos químicos, equipos y muestras. Es especialmente útil para realizar los análisis microbiológicos, que requieren mucho cuidado y los entornos más limpios posibles. Consta de:

– Una nevera (para muestras y caldos de cultivo).
– Una mesa de trabajo, un banco o mesa con la parte superior blanca, fácil de desinfectar con alcohol.
– Un fregadero y escurridero.
– Toda la documentación técnica necesaria.
– Placas de cultivo (Petri) médicas especiales/de laboratorio.
– Estufa y recipientes para la esterilización.

El operario debe llevar siempre bata de laboratorio y guantes quirúrgicos para los análisis microbiológicos. Antes de entrar al mini-laboratorio debe cambiar los zapatos por sandalias de plástico. El mini-laboratorio debe ser desinfectado con regularidad.

Nota: en algunos países, no es aceptable que una mujer trabaje con un hombre en una habitación cerrada.

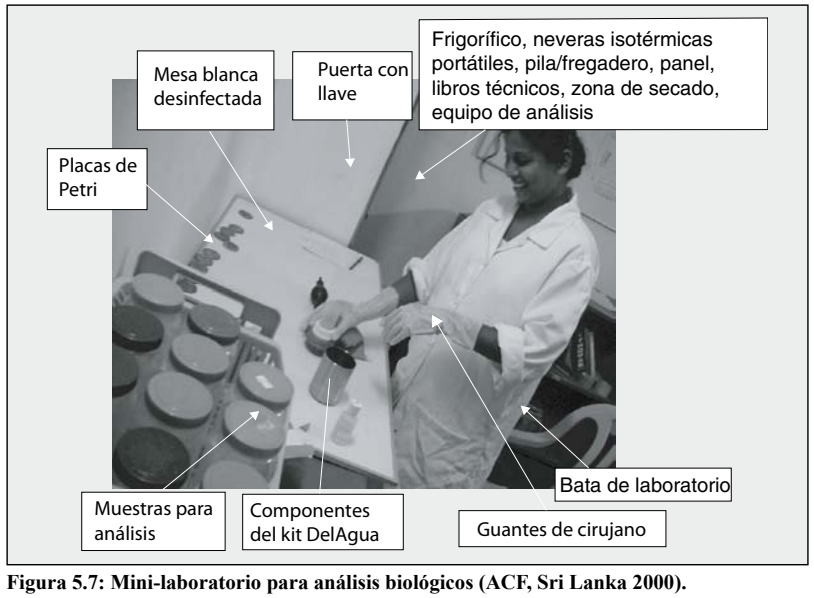


Figura 5.7: Mini-laboratorio para análisis biológicos (ACF, Sri Lanka 2000).

4.3 Presentación e interpretación de resultados

4.3.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Es fundamental guardar y archivar los resultados de los análisis (principalmente si se ha identificado algún riesgo sanitario). Normalmente, se recomienda una hoja para cada lugar analizado (ver Anexo 7). La información que debe contener incluye:

– Localización general (más datos GPS).
– Fecha de la muestra/análisis.
– Tipo de lugar (río, sondeo, pozo, balsa).
– La persona que realiza la muestra/análisis.
– La tabla completa del análisis.
– Comentarios acerca de la calidad del agua y del lugar.

La tabla completa de análisis contiene tres columnas (se toman tres muestras en cada lugar, esto que es la rutina para los análisis bacteriológicos, debería hacerse extensivo para el análisis de los demás elementos). Los resultados se dan como la media de las tres muestras, el valor máximo y la desviación estándar observada. Si las tres muestras no dan un resultado razonablemente homogéneo, se debe realizar de nuevo el análisis completo (con muestras nuevas), porque la dispersión de resultados se debe probablemente a que las muestras no son representativas o a un error durante el análisis. Es buena práctica registrar y guardar las membranas de filtración en un archivo (en el caso de análisis bacteriológico), para recuperarlos si es necesario comprobar resultados sospechosos.

4.3.2 REPRESENTATIVIDAD

El análisis se realiza con muestras de agua tomadas en un momento dado, en un lugar concreto y siguiendo una metodología específica. La pregunta es "¿Cómo es de representativa la muestra de la fuente o del punto de agua a analizar?". Es importante definir claramente el significado del análisis y cuáles son los factores que pueden afectar la representatividad.

La variación espacial o temporal de los productos químicos analizados, por ejemplo, puede indicar que no hay riesgos de compuestos tóxicos durante la estación seca, pero, durante la estación de lluvias, la percolación a través de las rocas puede propagarlos. Una toma de muestras inadecuada puede reducir también la validez del análisis. Ver en el Cuadro 5.5 dos ejemplos de la validez del análisis de agua.

Cuadro 5.5
Ejemplos de representatividad específica.

Pozos excavados y perforados

El análisis del agua que ha permanecido estancada durante mucho tiempo no es representativo del acuífero, sino del pozo, en un momento concreto: la calidad del agua puede verse afectada por los materiales que forman el tubo o la camisa (metales) y por elementos ajenos (contaminación, lluvia, etc.) Para tener una muestra representativa del horizonte en cuestión, se recomienda bombear durante un buen rato para renovar el agua de las tuberías o del tanque. Si el pozo atraviesa varias capas, la muestra será una mezcla de varios niveles proporcionales a la transmisividad de cada uno. Para obtener muestras puntuales de diferentes niveles siempre es posible usar recipientes lastrados dotados de un sistema de cierre controlado desde la superficie. Para minimizar la mezcla de agua de varios niveles durante la toma de muestras, se recomienda el uso de recipientes con un diámetro de entrada mucho menor que el diámetro del pozo perforado, y operar lentamente. Haciendo descender los recipientes en su forma abierta permite lavarlos mientras descienden.

Agua superficial

La toma de muestras se efectúa evitando los efectos de los límites (p.ej. en un río, la oxigenación es mayor cerca de la superficie, los materiales en suspensión están cerca del fondo, el agua estancada está cerca de las orillas, etc.) dentro de lo posible. Puede que sea preciso hacer una muestra promedio mezclando varias muestras tomadas en sitios diferentes de la corriente, para conocer mejor la química del agua en un tramo determinado. Las aguas superficiales tienen una calidad extremadamente variable en el tiempo y en el espacio.

4.3.3 INTERPRETACIÓN

La interpretación de los análisis de calidad de agua pueden ser cuestionada en un sentido más amplio: ¿Qué es lo que analizamos? ¿Por qué? ¿Cuándo y con qué frecuencia? ¿Cuál es el objeto del análisis? ¿Qué estándares se eligen para definir la calidad del agua? ¿Son los estándares seleccionados para caracterizar la calidad de agua del programa realistas en comparación con el agua consumida por la población? Etc.

Todas estas preguntas indican que un análisis de agua no es representativo por sí mismo, sino más bien debe ser tomado con sentido crítico y utilizado adecuadamente. La Tabla 5.XV propone una visión general para la interpretación de un análisis de agua.

La interpretación de un análisis de agua (selección de los parámetros y estándares) dependerá principalmente del contexto. La Sección 1.2 explica cómo se considera la calidad del agua en emergencias o en proyectos a largo plazo. También depende de la fase de implementación del proyecto (ver Sección 1.2 y Tabla 5.XV).

La contaminación fecal indica el riesgo de contaminación del agua por gérmenes patógenos (ver Sección 2.3.1: bajo riesgo, riesgo significativo, alto riesgo). Pero la interpretación no concierne sólo al riesgo sanitario: también puede usarse para identificar problemas técnicos en un sistema de abastecimiento.

– *Pozos excavados:* la contaminación fecal puede deberse al uso de una cuerda o cubo sucio. La promoción de la higiene y desinfección regular puede reducir el riesgo de contaminación.

– *Pozos perforados o pozos equipados con bombas*: la contaminación fecal es totalmente inaceptable incluso si es baja y no representa un riesgo sanitario. Esta contaminación indica frecuentemente que hay un fallo en la instalación que permite la contaminación de la fuente por filtración (p.ej. sellado incorrecto de la obra de la superficie), o contaminación subterránea (p.ej., de una letrina cercana). En estos casos, se debe rehabilitar la instalación, o eliminar la fuente de contaminación.

– *Redes de distribución*: la contaminación fecal es indicativa de un fallo técnico del sistema: las tuberías (p.ej. las tuberías enterradas se han roto o corroído, dejando entrar agua contaminada), la planta de tratamiento o la toma (contaminación de la fuente de agua). En todos estos casos, se debe realizar una inspección total del sistema para identificar la fuente de contaminación.

Tabla 5.XV: Modalidades de análisis de agua e interpretación.

Objeto del análisis (pasos del programa)	1 – Estudio regional sobre la calidad del punto de agua (estudio de viabilidad)	2 – Análisis de la calidad del agua en el punto de agua (validación)	3 – Seguimiento de la calidad de agua en el punto de suministro	4 – Seguimiento de la calidad de agua entre el punto de recogida y la vivienda.
Lugar	Región / pueblo	Punto de agua (fuente, sondeo, pozo o red de distribución)	En el punto de suministro de agua para el hogar del usuario	En recipientes utilizados para el transporte, almacenamiento y consumo.
Momento	Durante la selección del área del programa	Durante los trabajos y al finalizar el trabajo técnico, antes de la entrega.	Regularmente tras la entrega.	Regularmente tras asegurarse que la gente utiliza el punto de agua/ sistema de distribución.
Parámetros a analizar	Parámetros químicos, minerales tóxicos, características fisicoquímicas (pH, conductividad, etc.) Se debe hacer un estudio paralelo sobre la morbilidads	Características químicas (minerales tóxicos) y fisicoquímicas, calidad microbiológica.	Calidad microbiológica del agua. A la vez se deber realizar en paralelo una inspección técnica y sanitaria del punto de agua.	Calidad microbiológica del agua. A la vez se debe realizar una inspección de la higiene del recipiente utilizado para el transporte, almacenaje y consumo del agua.
Informes	Cartografía (GPS)	Incluir el perfil químico en la entrega de documentos contractuales.	Formato estándar de análisis de agua. Impreso de inspección sanitaria.	Formato estándar de análisis de agua. Impreso de inspección sanitaria.
Institución responsable	Agencia responsable	Poner en marcha la agencia, el comité del punto de agua, involucrar instituciones gubernamentales, ONG locales, compañías privadas.		
Interpretación	Comparación con especificaciones aplicables (adaptadas al contexto)			
Implicaciones para el programa	Validacion del punto de agua seleccionado; en caso contrario: → elegir y diseñar un tratamiento del agua → selección de un tipo de recurso alternativo → aplicación del principio de precaución.	Validación del punto de agua seleccionado; en caso contrario: → elegir y diseñar un tratamiento del agua → Abandonar la fuente y encontrar otro área u otra clase de fuente	Validación del funciona-miento correcto; en caso contrario: → Reparar el equipo de abastecimiento → Definición (o ajuste) del proceso de tratamiento (temporal o permanente) → Reestructuración del comité de agua. → Redefinición de las actividades de mantenimiento	֍ Validación de las prácticas higiénicas; de lo contrario: → Diseñar un programa específico para la promoción de la higiene → Distribución de kits higiénicos

CAPÍTULO VI

Tratamiento del agua

1 Procedimentos de tratamiento 139
1.1 Selección de procedimientos 139
1.1.1 Opciones de tratamiento 139
1.1.2 Análisis rápido 140
1.1.3 Contaminación biológica 140
1.1.4 Turbidez 140
1.1.5 Salinidad/salobridad 140
2 Tratamiento de grandes cantidades de agua 141
2.1 Pretratamientos 141
2.1.1 Tomas para el bombeo. Aspiración 141
2.1.2 Almacenamiento y sedimentación simple 141
2.2 Floculación y sedimentación 141
2.2.1 Principio 141
2.2.2 Implementación 142
2.2.2.1 Preparación de la solución madre 142
2.2.2.2 Estimación de la dosis de coagulante (ensayo de la jarra) 142
2.2.2.3 Floculación en el tanque de agua 143
2.2.3 Análisis del agua 144
2.3 Desinfección 144
2.3.1 Principios de la cloración 144
2.3.2 Implementación 146
2.3.2.1 Preparación de la solución madre 146
2.3.2.2 Dosis necesaria (prueba de la jarra) 146
2.3.2.3 Cloración en el tanque de almacenamiento 146
2.3.3 Medida del cloro libre residual 147
2.4 Filtración 148
2.4.1 Filtración con cartuchos cerámicos 148
2.4.2 Filtros rápidos de arena 148
2.4.3 Filtros lentos de arena 149
2.5 Aireación 149
3 Dosificación de productos químicos 151
4 Tratamiento doméstico del agua 152
4.1 Desinfección 152
4.1.1 Hervido 152
4.1.2 Desinfección solar 153
4.1.3 Desinfección química 154
4.2 Floculación, precipitación y/o sedimentación 155
4.2.1 Sedimentación simple: Método de las tres vasijas 156
4.2.2 Sedimentación química 157
4.3 Filtración 158
4.3.1 Filtración a través de una tela 158
4.3.2 Filtros cerámicos 158
4.3.3 Filtros de arena rápidos 160
4.3.4 Filtros lentos de arena 160
4.4 Comparación, eficacia y límites de las distintas metodologías de tratamiento de agua domiciliar 162

En los programas humanitarios, el principal objetivo del tratamiento del agua consiste en la protección de los usuarios contra los microorganismos patógenos y contra las impurezas que causan un mal sabor del agua. Los problemas con las sustancias tóxicas son mucho menos frecuentes que los problemas microbiológicos y no se tratan en este libro.

El tratamiento del agua requiere disponer de un equipo, habilidades, supervisión regular y mantenimiento. La más mínima debilidad en el procedimiento de tratamiento del agua puede poner en peligro la seguridad del agua suministrada y el proceso debe controlarse de cerca si ello representa un riesgo importante para la salud. Por esta razón, se debe evaluar cuidadosamente la alternativa del tratamiento individualizado del agua en cada hogar, ya que es más difícil de controlar que el tratamiento de agua en una comunidad.

1 PROCEDIMIENTOS DE TRATAMIENTO

1.1 Selección de procedimientos

1.1.1 OPCIONES DE TRATAMIENTO

Un procedimiento de tratamiento es una técnica específica que permite corregir alguna característica concreta del agua. La elección de un procedimiento o combinación de procedimientos se hace, por tanto, teniendo en cuenta los parámetros a tratar (Tabla 6.I).

Tabla 6.I Procedimientos para el tratamiento del agua.

Turbidez	almacenamiento/sedimentación floculación/sedimentación-filtración simple
Contaminación biológica	desinfección-filtración lenta por arena, hervido
Hierro, manganeso	aireación y sedimentación o filtración simple
Salinidad	ósmosis inversa, evaporación (proximidad al mar, o a una fuente de agua salobre)

1.1.2 ANÁLISIS RÁPIDO

Un análisis rápido de agua sin tratar permite conocer los parámetros a corregir y la estimación de las cantidades de reactivos necesarias. Una vez empezado el proceso de tratamiento, un análisis de la calidad del agua sin tratar (antes del tratamiento) permite medir el cambio de las características del agua y ajustar el tratamiento conforme convenga. Esto es particularmente útil para las estaciones de tratamiento de agua superficial instaladas durante una emergencia. Los parámetros de calidad del agua se dan en el Capítulo V.

1.1.3 CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA

El nivel de contaminación general del agua a tratar (materia orgánica, materia oxidable, microorganismos, etc.) se puede estimar rápidamente por la demanda de cloro (ver sección 2.3.1). El agua sin materia oxidable no tiene demanda de cloro, mientras que el agua superficial contaminada puede tener una demanda de hasta 8 mg/l. Este parámetro, que no es muy preciso, se debe usar esencialmente para el seguimiento de la calidad del agua sin tratar con el transcurso del tiempo. En el terreno, la demanda de cloro se mide con el mismo procedimiento con el que se mide el cloro residual. (ver Sección 2.3.3).

El análisis bacteriológico del agua proporciona una imagen parcial del nivel de contaminación fecal (ver Capítulo V) y generalmente confirma la necesidad de desinfección. Este análisis se usa también de forma rutinaria para vigilar la efectividad de los procedimientos de tratamiento.

1.1.4 TURBIDEZ

La turbidez se debe a la presencia de partículas en suspensión en el agua (restos orgánicos, arcilla, organismos microscópicos, etc.). Una elevada turbidez protege a los microorganismos fijados a las partículas de la acción de los desinfectantes: la turbidez debe ser lo más baja posible para que la desinfección sea efectiva (Tabla 6.II).

Tabla 6.II. Escala de valores de turbidez .

NTU<5	Agua incolora, se puede desinfectar o filtrar directamente
5<NTU<30	Agua ligeramente turbia, requiere algún tratamiento (floculación, sedimentación, filtración) antes de la desinfección
NTU>50	Agua turbia que requiere tratamiento (floculación, sedimentación, filtración,) antes de la desinfección

El pH se debe mantener entre 6 y 7,5 (Degrémont, 1989) para que la aplicación del coagulante sulfato de aluminio sea efectiva. Si no es así, es necesario corregir el pH o usar otro coagulante (como sales de hierro).

1.1.5 SALINIDAD/SALOBRIDAD

En los casos concretos de necesidades de agua durante una emergencia en asentamientos próximos al mar o de un recurso de agua salobre, se puede considerar la desalación por ósmosis inversa. Durante las emergencias se pueden usar unidades transportables de baja capacidad (se requiere electricidad o grupos generadores), que operadas por personal especializado proporcionan una respuesta rápida y eficiente a necesidades inmediatas.

A más largo plazo estas instalaciones siguen necesitando personal altamente especializado para tener una operación aceptable. Los costes de instalación y mantenimiento (reposición de membranas) son elevados, requieren una fuente de electricidad y generan un efluente muy salino.

Si la insolación es fuerte, se puede considerar la instalación de canalones cubiertos con láminas de vidrio inclinadas para la evaporación y condensación, a nivel doméstico o comunitario, que requieren poco mantenimiento, la operación es sencilla y el agua de excelente calidad, aunque con escasa mineralización.

2 TRATAMIENTO DE GRANDES CANTIDADES DE AGUA

2.1 Pretratamientos

Cuando hay que tratar el agua, es esencial eliminar cualquier materia en suspensión. Las técnicas para eliminar residuos y partículas grandes (plantas, maderas flotantes, arena) de las aguas superficiales son sencillas.

2.1.1 TOMAS PARA EL BOMBEO. ASPIRACIÓN

Cuando se bombea el agua superficial, es esencial posicionar correctamente el tubo de succión. Se puede hacer de varias maneras.

El uso de un filtro o pantalla adecuados, con una luz de malla entre 5 y 20 mm, elimina las partículas más grandes que se encuentran en suspensión o flotando. La luz de malla, que depende del tamaño de partículas a eliminar, debe permitir una velocidad de entrada del agua en el filtro de menos de 70 cm/s, para evitar pérdidas de carga excesivas. El filtro se debe situar en medio del agua con un dispositivo flotante (bidón de hierro, boya o balsa).

Una zanja de filtrado (o galería de infiltración), cavada en los depósitos aluviales de la corriente de agua y rellenada con cantos rodados de diámetros de 10 – 20 cm, es una técnica efectiva de prefiltrado. El filtro de la toma de la bomba se sitúa en un pozo, hecho con anillos de cemento o un bidón de acero, situado al final de la zanja. Todo o parte de la zanja de filtración y el pozo se pueden situar en el lecho del río o del lago, o en las riberas.

También se puede colocar una pantalla gruesa de PVC en la zanja, con una capa filtrante colocada alrededor y compuesta de 30 a 40 cm de guijarros de 10 a 20 cm de diámetro. La pantalla de PVC se conecta directamente al extremo del tubo de succión de la bomba. Esta disposición tiene la ventaja, en comparación con la zanja simple de filtrado, en que se puede limpiar el dispositivo invirtiendo el flujo con la bomba.

2.1.2 ALMACENAMIENTO Y SEDIMENTACIÓN SIMPLE

Esta técnica elimina la materia en suspensión y algunos organismos patógenos. De hecho, el agua es un medio que limita la vida de estos organismos: de acuerdo con la OMS, se alcanza una reducción del 99% en las bacterias fecales al cabo de 3 ó 4 semanas de almacenamiento. Sin embargo, el tiempo de almacenamiento habitual no es lo suficientemente largo para eliminarlos a todos. Durante el tiempo de almacenamiento, también sedimentan los organismos patógenos de mayor tamaño en el fondo del tanque.

No todos los materiales suspendidos sedimentan con facilidad, especialmente aquellos que colorean el agua (coloides). Es necesario, por tanto, llevar a cabo ensayos de sedimentación: si después de una hora la mayor parte de la materia en suspensión no ha sedimentado, se debe usar otra técnica, como la floculación.

2.2 Floculación y sedimentación

2.2.1 PRINCIPIO

La floculación reduce la turbidez del agua eliminando la materia en suspensión, incluyendo los coloides (especialmente arcillas y materiales que colorean el agua) que se mantienen en suspensión por fenómenos electrostáticos o de hidratación y que son difíciles, si no imposibles, de eliminar por simple sedimentación. La floculación reduce indirectamente el número de organismos patógenos presentes en el agua sedimentándolos junto con la materia coloidal.

La floculación consiste en añadir al agua productos químicos llamados coagulantes. Éstos coagulantes neutralizan los coloides y los inducen a combinarse entre ellos para formar coágulos, que son lo suficientemente grandes e inertes como para ser eliminados por sedimentación o filtración. Los sedimentos, que contienen residuos de coagulantes y organismos patógenos, son eliminados bajo condiciones higiénicas estandarizadas.

El coagulante más comúnmente usado es el sulfato de aluminio, $Al_2(SO_4)_3.nH_2O$, que se encuentra en forma de polvo o terrones sólidos. Los terrones conviene evitarlos por ser difíciles de disgregar y ser relativamente insolubles. El factor que limita el uso del sulfato de aluminio es el pH del agua, que debe estar entre 6 y 7,5 (Figura 6.1): si el pH está fuera de este rango, la floculación puede ser escasa y las cantidades de sulfato de aluminio a usar demasiado elevadas. En estos casos es aconsejable usar otro coagulante, como el sulfato férrico, $Fe_2(SO_4)_3$, que funciona en un rango de pH mayor (5 - 9).

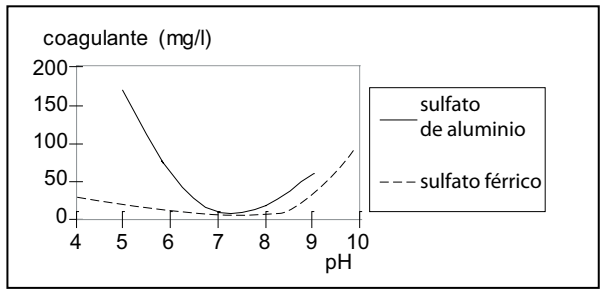


Figura 6.1: Cantidad de coagulante a usar en función del pH del agua sin tratar.

Los coagulantes sintéticos son más versátiles y efectivos. Muchos se encuentran en forma líquida, lo que puede complicar su transporte. Finalmente, existen también coagulantes naturales (semillas de plantas, frutas, etc.) que pueden resultar apropiados a nivel doméstico, como las semillas del árbol Moringa Oleifera.

2.2.2 IMPLEMENTACIÓN

Los coagulantes rara vez se usan tal como se les encuentra en el mercado, si no en forma de soluciones madre. La dosificación óptima requerida depende de la calidad del agua a tratar y se debe determinar con el ensayo de la jarra (ver sección 2.2.2.2). Para realizar ensayos de coagulación en el terreno, se siguen varios pasos.

2.2.2.1 PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN MADRE

Esta solución al 5% permite usar convenientemente el coagulante. Se puede almacenar en bidones de 20 litros (o barriles de 200 l si se necesitan grandes cantidades). Hay que agitar la solución a conciencia cada vez que se vaya a utilizar. La solución madre se puede guardar durante 1 semana.

2.2.2.2 ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE COAGULANTE (ENSAYO DE LA JARRA)

No es preciso realizar esta prueba cada día si la calidad del agua no fluctúa mucho. La prueba se realiza como sigue:

– Rellenar cuatro cubos de plástico con 10 litros de agua sin tratar cada uno.

– Añadir cantidades crecientes de solución madre al 5% a cada cubo con una jeringuilla, de modo que se cubra el rango normal de dosificación de 20 a 150 mg/l, por ejemplo:

- cubo 1: 4 ml de solución madre al 5%, esto es 200 mg de coagulante en 10 l de agua, o sea una concentración de coagulante (producto comercial) de 20 mg/l;
- cubo 2: 10 ml de solución madre, o sea concentración de coagulante 50 mg/l;
- cubo 3: 20 ml de solución madre, o sea concentración de coagulante 100 mg/l;
- cubo 4: 30 ml de solución madre, o sea concentración de coagulante 150 mg/l.

– Agitar vigorosamente durante 30 segundos, y luego suavemente durante 5 minutos;

– Dejar en reposo durante una hora y examinar las muestras visualmente: el coágulo tiene la apariencia de una masa de lana de algodón empapada de agua.

Se recomienda escoger la dosis más pequeña que dé buenos resultados. Si la dosis es demasiado baja, no se llegan a formar coágulos, son demasiado pequeños o no se sedimentan. Si es demasiado elevada, restos de coagulante, que son difíciles de eliminar, pueden quedar en el agua (especialmente el aluminio).

Cuadro 6.1
Coagulantes y pH.

Acidificación

Los coagulantes minerales (sales de hierro y aluminio) forman un precipitado de hidróxidos, creando un aumento de la acidez cuando se disuelven en agua:

Sal de aluminio	sal de hierro
$Al^{3+} + 3\ H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3\ H^+$	$Fe^{3+} + 3\ H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 + 3\ H^+$

Esta acidez puede reaccionar con algunas sustancias en solución, particularmente con iones bicarbonato:

$$HCO_3^- + H^+ \rightarrow H_2O + CO_2$$

Con esto, la capacidad de compensación de la propia agua (efecto buffer) puede neutralizar la acidez (ver Capítulo V), o si es necesario, se puede añadir una base para tener el mismo efecto.

Corrección del pH

Se pueden usar diferentes productos químicos para aumentar el pH del agua:

($CaOH_2$)	Cal hidratada poco soluble	1.76 g/l a 10 °C
(CaO)	Cal viva poco soluble	1.3 g/l a 10 °C
(Na_2CO_3)	Sosa comercial soluble	305 g/l a 10°C

La cal hidratada es el producto más común, aunque es difícil de usar debido a su baja solubilidad. Hay que preparar una solución de 1 g/l y removerla continuamente hasta que se use.

La medida de la alcalinidad del agua sin tratar permite calcular la capacidad de compensación del agua, y por lo tanto estimar la cantidad de álcali a añadir. De todos modos, Degrémont (1989) da una aproximación bastante exacta para las pruebas y se obtiene compensando la acidez inducida por el sulfato de aluminio por medio de la adición de:

– Cal: aproximadamente un tercio de la dosis de sulfato de aluminio como producto comercial sólido.
– Sosa comercial: de 50 a 100% de la dosis de sulfato de aluminio como producto comercial sólido.

Estas dosificaciones se deben verificar con pruebas como los ensayos de la jarra. Si se usa cal para corregir el pH antes de la floculación, se puede hacer el ensayo de la jarra, con una dosis fija de sulfato de aluminio y diferentes dosis de cal. También es posible variar la dosificación de coagulante dependiendo de la dosis de cal, para determinar así las mejores proporciones.

2.2.2.3 FLOCULACIÓN EN EL TANQUE DE AGUA

La formación de coágulos es relativamente rápida, tanto que la solución madre de coagulante se debe mezclar tan rápidamente como sea posible con el agua a tratar. Hay dos maneras de introducir la solución para asegurar una mezcla rápida y homogénea (ver Sección 3): introducirla en el tubo de succión de la bomba o durante el llenado del tanque.

La formación de coágulos y la sedimentación se pueden mejorar agitando de forma lenta y regular después de un rápido mezclado. En tanques circulares, situando la tubería de descarga de la bomba contra la pared del tanque se imparte un movimiento circular al agua, que facilita la mezcla. El tiempo necesario para una sedimentación completa varía entre media hora y medio día, y solo se puede determinar con precisión haciendo pruebas.

Es esencial transferir el agua tratada a otro recipiente antes de la cloración para evitar que los coágulos sedimentados vuelvan a quedar en suspensión durante el proceso de mezclado. Además, los

sedimentos coagulados (que son tóxicos por su contenido en aluminio) se deben eliminar regularmente, cuidando que su vertido no contamine fuentes de agua ni tierras de labranza.

La Tabla 6.III da información básica sobre el sulfato de aluminio, el coagulante más comúnmente utilizado.

Tabla 6.III: Resumen de las características del sulfato de aluminio.

Características
Contenido de compuesto activo en el producto comercial: 17% aprox.
Límite de solubilidad: 688 g/l
Densidad: 1 Tm/m^3
Reactivo ácido: causa un descenso del pH del agua
Uso del producto comercial
Solución madre al 5% → 50 g/l → 1 kg/20 l
Dosificación normal: 20 a 150 mg/l de producto comercial → 4 a 30 ml de solución madre por 10 l de agua sin tratar
50 kg de sulfato de aluminio trata de 300 a 2 500 m^3 de agua
pH del agua sin tratar entre 6 y 7,5

2.2.3 ANÁLISIS DEL AGUA

El pH del agua tratada con coagulantes es generalmente bajo. Se hace por tanto necesario verificar el pH durante el tratamiento y, si es necesario, modificar la dosificación de coagulante o corregir el pH añadiendo otro producto químico.

La cantidad de aluminio presente en el agua tratada se debe medir si se ha utilizado sulfato de aluminio. La OMS recomienda una concentración máxima de aluminio de 0,2 mg/l.

2.3 Desinfección

Hay diferentes métodos para desinfectar el agua, pero el que mayoritariamente se usa en programas de emergencia es la cloración. Destruye los organismos patógenos presentes en el agua bloqueando su actividad enzimática, al tiempo que protege el agua contra la re-contaminación durante su transporte y almacenamiento. Este efecto desinfectante residual es la principal ventaja frente a otros tratamientos como los basados en ozono, rayos ultravioletas o hervido (Cuadro 6.2).

Según la OMS, las condiciones normales de cloración (0,5 mg/l de cloro libre residual, un mínimo de 30 min de contacto, pH inferior a 8 y turbidez inferior a 1 NTU) reducen el número de *E. coli* y ciertos virus en cantidades superiores al 99%, pero tienen un efecto mucho menor sobre el número de quistes y huevos de protozoos.

2.3.1 PRINCIPIOS DE LA CLORACIÓN

El cloro es un oxidante: en solución acuosa, reacciona con toda la materia oxidable presente, tanto inorgánica (hierro, manganeso, etc.) como orgánica. La reacción se puede expresar en términos de demanda de cloro. Si la cantidad de cloro añadida al agua es suficiente para atender esta demanda, el cloro que queda sin usar se encuentra en forma libre en el agua y se llama cloro libre residual (Figura 6.2). El cloro usado para cubrir la demanda se llama cloro combinado residual.

Para asegurarse de que la cantidad de cloro añadido al agua sin tratar es suficiente, se necesita verificar la presencia de cloro libre residual. Asimismo, el cloro libre residual es lo que protege al agua frente a nuevas formas de contaminación que pueden tener lugar tras el proceso de desinfección: este cloro permanece activo durante algún tiempo y por tanto, puede seguir matando nuevos organismos patógenos. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento, el cloro libre residual puede persistir desde varias horas hasta varios días. Una parte del cloro combinado residual sigue funcionando como desinfectante, aunque es mucho menos efectivo que el cloro libre residual. Sin embargo, los productos resultantes del cloro combinado residual son más estables y permanecen más tiempo que el cloro libre residual (útil en la prevención de la post-contaminación en las redes de distribución por tuberías).

La cloración tiene varias limitaciones. Para una desinfección adecuada, la turbidez debe ser inferior a 5 NTU. Ocasionalmente, es posible clorar agua con una turbidez de hasta 20 NTU, pero la cantidad de cloro a usar es mayor, el olor y el sabor del cloro son desagradables y la desinfección es deficiente. Los organismos patógenos adheridos a la materia en suspensión son difíciles de destruir, y puede que sobrevivan, incluso aunque haya cloro libre residual en el agua al cabo de 30 minutos.

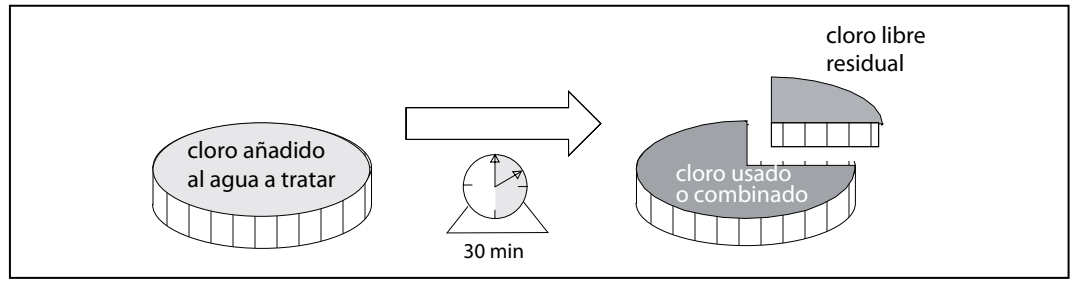


Figura 6.2: Cloro disuelto en agua.

La cloración es mucho menos efectiva cuando el pH es superior a 8. Esto se debe a que el cloro se presenta en diferentes formas dependiendo del pH del agua (ácido hipocloroso, HClO a bajo pH, iones hipoclorito ClO^- a elevado pH). Como la forma más efectiva es la de ácido hipocloroso, la desinfección es mejor bajo condiciones ácidas (Degrémont, 1989).

La desinfección depende de dos parámetros: la dosificación del desinfectante y la duración del contacto entre el desinfectante y el agua (tiempo de contacto). Las dosificaciones dadas en este capítulo están calculadas para un tiempo de contacto mínimo de 30 min. Si el tiempo de contacto es inferior, la dosificación de cloro debe ser mayor. Se entiende que el producto [tiempo de contacto (min) x cloro libre residual (mg/l)] debe ser de alrededor de 15 mg/l·min: sobre 1 mg/l·min es suficiente para destruir un 99,9% de la población de *E. coli*, pero se necesitan diez veces más para los poliovirus 1 (Degrémont 1989).

La cloración no se debe realizar en recipientes metálicos sin recubrimiento interior, el cloro oxidaría el metal. Durante las emergencias, se pueden usar recipientes metálicos esmaltados o pintados interiormente (con pintura de grado alimentario), pero lo ideal es usar recipientes de plástico.

El cloro gas es difícil de usar en programas de emergencia. Se usan por tanto productos que liberan cloro en solución acuosa. Estos productos se encuentran en diferentes formas (Tabla 6.IV) y su concentración de cloro activo se expresa como sigue:

– en porcentaje, donde 1% = 10 g/l;
– en grados de cloro, donde 1° Cl = 3 g/l aprox.;
– en miligramos por litro, donde 1 mg/l = 1 ppm = 0,0001%.

Es preferible usar hipoclorito cálcico concentrado (HTH, *high-test hipochlorite*): se conserva bien (pérdidas de 2% de cloro anuales) en recipientes no metálicos sellados herméticamente lejos de la luz y del calor. Sin embargo, es muy corrosivo y se debe manipular con mucho cuidado (en caso de entrar en contacto, hay que lavar con agua abundantemente). El HTH está sujeto a regulaciones muy estrictas para su transporte por avión y solo se puede transportar en recipientes especiales.

Tabla 6.IV: Productos que liberan cloro.

Producto que libera cloro	Contenido en cloro activo	Comentarios
Hipoclorito cálcico (p.ej.HTH)	70% en polvo	Preferiblemente para tratamientos colectivos
Dicloro-isocianurato sódico (NaDCC)	60% en polvo 1,5 g / tableta	En forma de tabletas para distribución casera Se puede transportar en avión
Hipoclorito sódico (p.ej. lejía 12 ó 15°Cl)	4% ó 5% en líquido	Se conserva muy poco tiempo una vez abierto
Cloramina T	tabletas de 25%	Reservado para uso individual

2.3.2 IMPLEMENTACIÓN

2.3.2.1 PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN MADRE

Para la cloración regular del agua se usa una solución madre al 1% de 10 g/l de cloro activo que se prepara a partir de un producto que libere cloro (Tabla 6.V). Es más fácil usar una solución que el producto sólido. La solución madre se debe conservar en bidones sellados de plástico, al resguardo de la luz y durante un período de tiempo inferior a tres o cuatro días.

Guía de cantidades: 1 cucharada sopera contiene unos 15 g o 15 ml de producto, una cucharada de café 5 g o 5 ml.

Tabla 6.V: Preparación de la solución al 1%.

Producto y concentración de cloro activo	Dilución
Hipoclorito cálcico – HTH al 70%	15 g/l
Dicloro-isocianurato sódico (NaDCC), tabletas de 1.5 g	7 tabletas/l
Hipoclorito sódico – lejía 12 °Cl (15°Cl)	250 ml/l (200 ml/l)

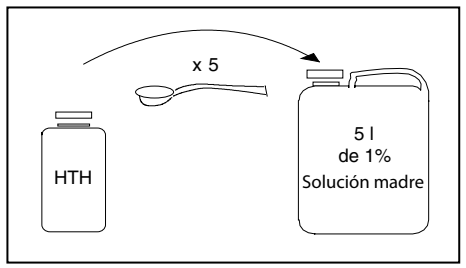


Figura 6.3: Preparación de la solución madre de cloro.

Para preparar 5 l de solución madre de HTH (Figura 6.3), mezclar 5 cucharadas soperas de HTH en un bidón de plástico con 5 litros de agua y mezclar bien.

2.3.2.2 DOSIS NECESARIA (PRUEBA DE LA JARRA)

No es preciso realizar esta prueba a diario. Por otra parte, se debe medir el cloro libre residual cada vez que se realice una cloración. La prueba se realiza como sigue:

– Añadir a cada cubo de plástico 10 l de agua sin tratar (Figura 6.4).

– Añadir con una jeringuilla a cada cubo cantidades crecientes de solución madre al 1%, de modo que se cubra la dosificación normal de 1 a 5 mg de cloro activo por litro de agua. Por ejemplo:

- cubo1: 1 ml de solución madre al 1%, o sea 10 mg de cloro en 10 l de agua, o sea 1 mg/l de concentración de cloro;
- cubo 2: 2 ml de solución madre, o sea 2 mg/l de concentración de cloro;
- cubo 3: 3 ml de solución madre, o sea 3 mg/l de concentración de cloro;
- cubo 4: 5 ml de solución madre, o sea 5 mg/l de concentración de cloro.

– Remover vigorosamente y dejar en reposo 30 min.

– Medir el cloro libre residual y tomar de referencia la dosificación que deja entre 0,5 y 1 mg/l de cloro libre residual.

2.3.2.3 CLORACIÓN EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Para asegurar una buena mezcla, se añade la solución a medida que se llena el tanque. Para grandes volúmenes de agua, se puede usar una adición automática (ver Sección 3). Tras 30 minutos de tiempo de contacto, se mide el cloro libre residual.

Las propiedades principales del HTH, el producto más usado para la cloración, se resumen en la Tabla 6.VI.

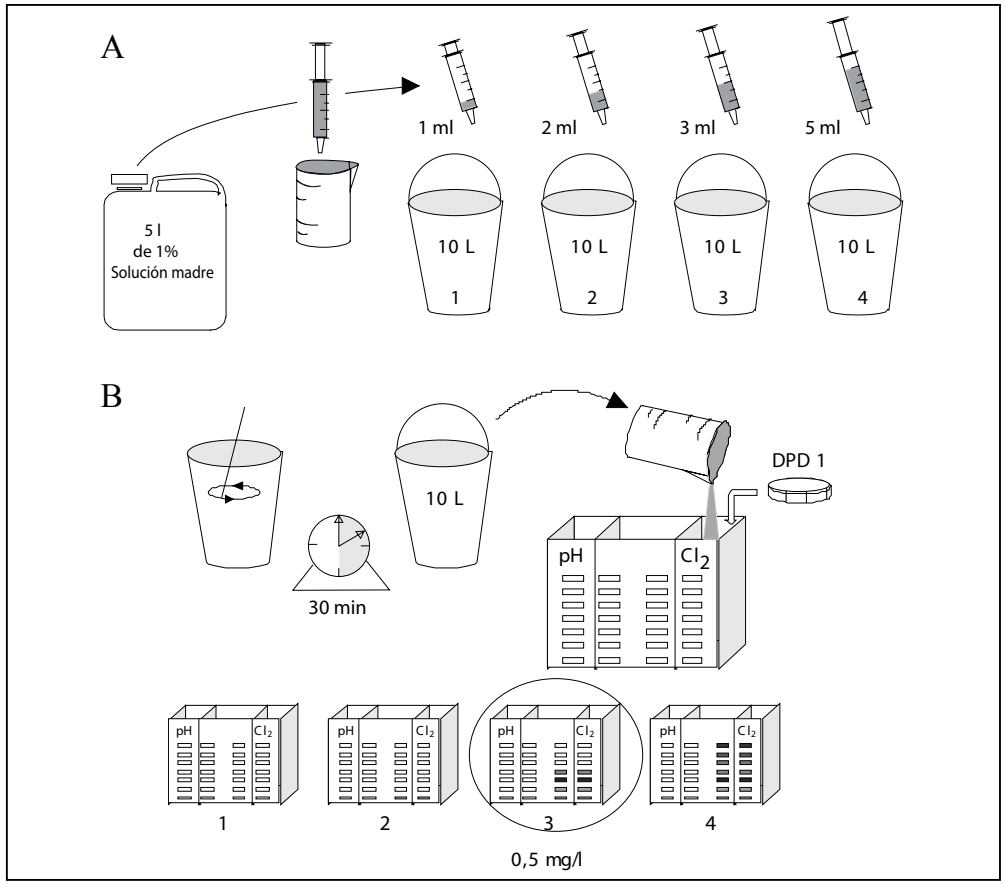


Figura 6.4: Prueba de la jarra. A: preparación de soluciones; B: selección de la dosis.

Tabla 6.VI: Resumen de las propiedades del HTH.

Propiedades
Contenido en cloro activo del producto comercial: 70% aprox.
Límite de solubilidad: 225 g/l
Reactivo alcalino: causa un aumento del pH del agua
Uso del producto comercial
solución madre al 1% → 15 g/l → 1 cucharada sopera/l
dosificación normal: 2 a 15 mg/l de HTH → 2 a 15 ml de solución madre por 10 l de agua sin tratar
1 kg de HTH trata de 50 a 500 m^3 de agua
pH del agua sin tratar < 8

2.3.3 MEDIDA DEL CLORO LIBRE RESIDUAL

El cloro libre residual se debe determinar regularmente después de que el agua se haya desinfectado con cloro: es la única manera de asegurarse de que la desinfección ha sido efectiva. Este análisis de debe llevar a cabo en varios puntos del sistema de suministro de agua: a la salida del tanque de desinfección, en los grifos y en los recipientes de las casas. Es esencial conocer el valor del cloro libre residual en el punto de consumo, esto es, en los hogares. Este cloro libre residual debe hallarse entre 0,5 y 1 mg/l; se recomienda una concentración de 0,5 mg/l. La dosificación se calcula como sigue:

– Enjuagar el medidor (colorímetro) antes de usarlo;

– Disolver una tableta de DPD1 en el compartimento del cloro y otra tableta de rojo de fenol en el compartimento del pH (Figura 6.5);

– Si el pH >8, el cloro libre residual debería ser superior a 1 mg/l;

– Si el producto usado para clorar es cloramina T, el cloro residual se halla sólo en forma combinada, por lo que se usa 1 tableta de DPD1 y otra de DPD3;

– Si la concentración de cloro residual es muy elevada, puede que el resultado sea un falso negativo porque el cloro puede "lavar" el reactivo;

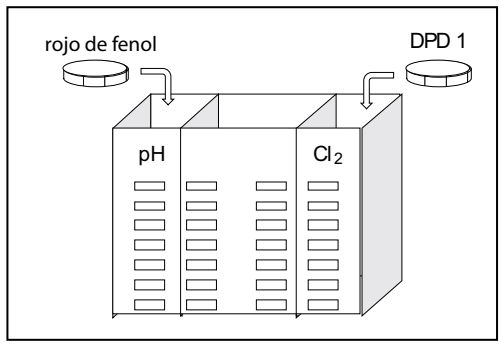


Figura 6.5: Medidor de cloro (*pool-tester*).

2.4 Filtración

Hay diferentes métodos de filtración que son específicos en función del tipo de contaminación del agua (Tabla 6.VII).

2.4.1 FILTRACIÓN CON CARTUCHOS CERÁMICOS

Los filtros de cartuchos cerámicos están indicados para uso doméstico, o para infraestructuras sanitarias pequeñas. Se recomienda el uso de filtros del tipo Katadyn® ya que su filtrado tan fino (0,2 µm) proporciona un tratamiento efectivo contra organismos patógenos (con la excepción de virus, cuya eliminación es muy limitada).

Tabla 6.VII: Tipos de filtros y sus aplicaciones.

Técnica de filtración	Aplicación	Parámetros técnicos
Cartuchos cerámicos	Uso doméstico. Tratamiento de la turbidez Filtro de tipo Katadyn®: eliminación de organismos patógenos	Límite de la filtración: 0,45 µm Filtro tipo Katadyn: 0,2 µm Caudal: 1 a 4 l/h
Filtros de arena rápidos	Tratamiento de la turbidez Tratamiento de hierro/manganeso	Velocidad de filtración: 10 $m^3/m^2/h$ Medio filtrante: arena 1-2 mm, UC* = 1,5 Espesor: 0,5 a 1 m
Filtros de arena lentos	Tratamiento de la contaminación fecal	Turbidez < 20 NTU. Velocidad de filtración: 0,2 $m^3/m^2/h$. Medio filtrante : arena 0,2 mm.UC = 2 espesor: 0,6 a 1 m de arena + 0,4 m grava

*UC = Coeficiente de uniformidad – relación entre los tamaños de malla a través de los que pasa el 60% y 10% de la arena

2.4.2 FILTROS RÁPIDOS DE ARENA

Básicamente, estos filtros proporcionan un tratamiento mecánico del agua y se usan para tratar agua con una turbidez superior a 20 NTU. El principio consiste en hacer pasar el agua a través de un filtro de arena fina (1-2 mm) de tamaño más o menos uniforme (UC próximo a 1,5). Para evitar que el filtro se colmate rápidamente, el caudal de agua no debe ser muy elevado: un caudal de 10 m^3/h por m^2 de superficie filtrante sería correcto. También es posible hacer pasar el agua por una capa de material más grueso (grava) antes de pasarlo por la arena para pre-filtrar el agua y retardar la colmatación.

Por ejemplo ACF usó filtros de arena rápidos en Juba, Sudán en 1991, para tratar agua del Nilo cuya turbidez es muy variable. Estos filtros, ubicados en bidones de 200 litros, proporcionaban un nivel de turbidez aceptable para la desinfección posterior. Se limpian invirtiendo el flujo.

Los filtros rápidos de arena se pueden usar para recoger los coágulos formados tras la floculación. En este caso se recomienda mantener un caudal de agua de unos 3 - 5 m^3/h por m^2 de superficie filtrante. Los filtros de este tipo se pueden construir en los tanques de agua tipo Oxfam.

2.4.3 FILTROS LENTOS DE ARENA

La filtración lenta por arena consiste en hacer pasar el agua a través de un material filtrante a una velocidad inferior a la de los filtros rápidos de arena: normalmente a un máximo de 0,2 m^3/h por m^2 de superficie filtrante. Esta velocidad tan baja permite el desarrollo de una gran variedad de organismos en los primeros centímetros de la arena. Estos organismos forman una membrana biológica, llamada *schmutzdecke* (del alemán *capa sucia*), que descompone la materia orgánica y proporciona un tratamiento biológico efectivo contra la contaminación fecal. La filtración lenta por arena se puede usar también para reducir la turbidez, pero el tamaño de partícula tan pequeño de la arena permite solo el tratamiento de aguas poco turbias: no se recomienda el uso de filtros lentos cuando la turbidez promedio supera los 20 NTU. Una turbidez de 150 a 200 NTU puede ser aceptable, pero solo por pocos días, ya que se corre el riesgo de una colmatación rápida.

Cuando se colmata el filtro, el caudal disminuye de forma significativa. El mantenimiento, entonces, consiste en la eliminación de los primeros 2 a 5 cm de arena y volver a poner el filtro en servicio. Cuando el espesor del filtro disminuye a 60 cm es necesario reacondicionar el filtro añadiendo arena limpia. Para evitar la interrupción del suministro de agua, se suelen instalar dos filtros que operan en paralelo o alternativamente.

El desarrollo y mantenimiento del *schmutzdecke* requiere unas condiciones particulares: debe estar constantemente cubierto por el agua y el flujo ha de ser continuo y lento. Es importante, por tanto, dimensionar el filtro en función de la demanda (relación caudal/área), e implementar un sistema de regulación del caudal para controlar el nivel y el caudal de agua a través del filtro. Si se cumplen estas condiciones, la membrana biológica se desarrolla en una o dos semanas.

Los filtros lentos de arena se deben construir usando tanques tipo Oxfam de 70 m^3 y 95 m^3 (existen kits disponibles).

2.5 Aireación

Esta técnica, fácil de usar, acelera la interacción entre el agua y el aire. El oxígeno atmosférico oxida la materia disuelta, como el hierro, que en ocasiones se encuentra en grandes cantidades en aguas subterráneas. La aireación oxigena también el agua y elimina el exceso de CO_2. Generalmente, la aireación elimina olores desagradables y algunos sabores.

Para facilitar la aireación se puede instalar un difusor (como la alcachofa de la ducha) en la entrada al tanque de almacenamiento; esto disminuye el riesgo de condiciones anaeróbicas y de problemas de corrosión en el sistema de distribución.

Se puede instalar un aireador a la salida de la bomba manual para eliminar hierro. El precipitado que se forma a causa de la aireación se elimina por sedimentación o, incluso mejor, por filtración (Figuras 6.6 y 6.7). Los filtros instalados en Camboya por ACF han reducido las concentraciones de hierro desde valores de entre 3 y 15 mg/l en algunos sondeos hasta niveles inferiores a 0,3 mg/l. No obstante, los mecanismos que controlan la precipitación del hierro dependen de numerosos factores, tales como temperatura, potencial redox, pH, etc. Dependiendo de la combinación pH/potencial redox, el hierro se presenta en diferentes formas, en ciertos complejos que lo hacen más difícil de eliminar mediante un proceso simple de aireación. Generalmente se estima que cuanto mayor sea el pH y más próxima a la saturación en oxígeno esté el agua, más rápida será la precipitación del hierro disuelto por medio de la aireación.

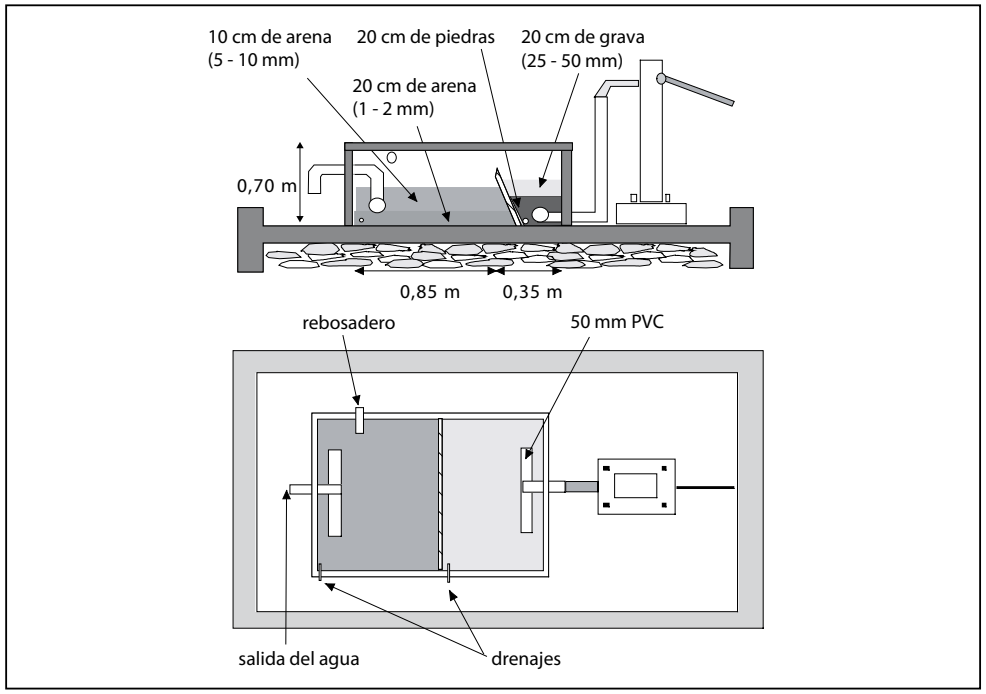


Figura 6.6: Eliminación de hierro por aireación y filtración.

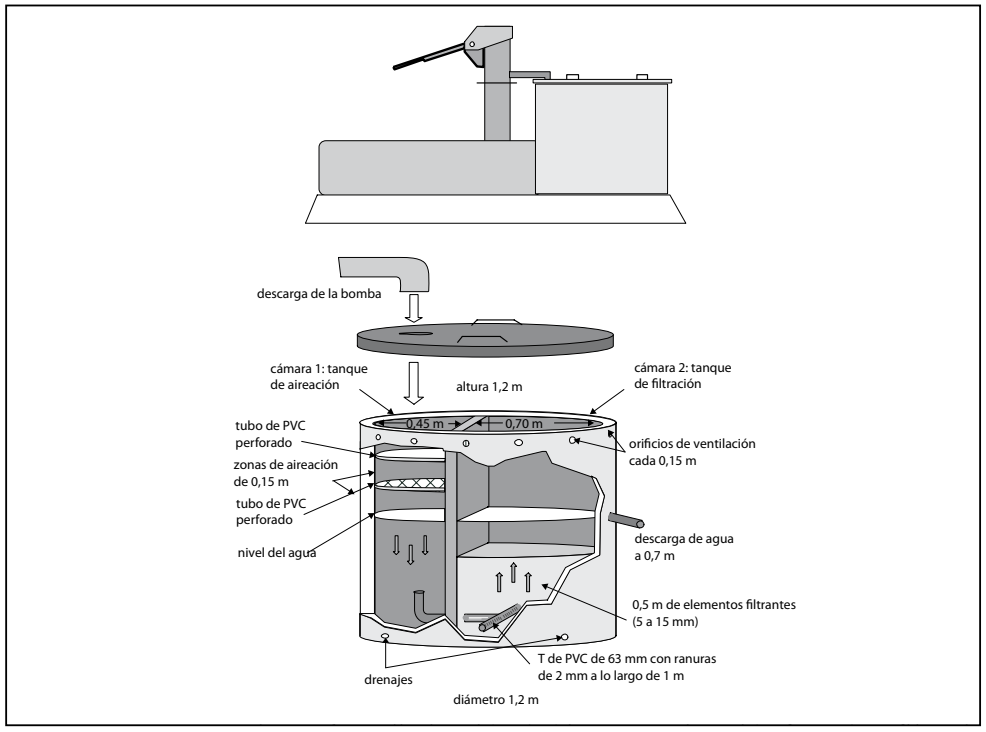


Figura 6.7: Eliminación de hierro por aireación forzada y filtración (usando un anillo de cemento)[1].

1. Fuente: Socios para el desarrollo, 1997.

3 DOSIFICACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS

Para tratar grandes volúmenes de agua, se instalan sistemas dosificadores de sulfato de aluminio y de cloro. Esto proporciona un control efectivo de la cantidad de productos químicos usados, aumentando así la eficiencia del tratamiento. Hay varias técnicas disponibles.

La dosificación discontinua consiste en la adición de un volumen constante de un producto químico a un volumen conocido de agua a tratar (Fig.6.8). Ésta debería ser la primera opción a considerar, ya que es la más simple. Sin embargo, no es la más eficiente para la floculación ya que la mezcla no se produce con rapidez y el ritmo de adición de coagulante no es constante, siendo menor a medida que baja el nivel del agua en el tanque de aditivo.

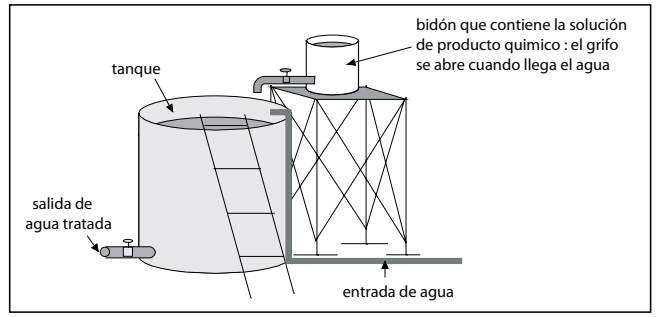


Figura 6.8: Dosificación de un producto químico al tanque de tratamiento usando un bidón. La velocidad de adición del producto químico varía con la altura de solución existente en el bidón.

La dosificación a caudal constante se lleva a cabo usando un mecanismo que mantiene un nivel fijo de la solución madre en el tanque de aditivo químico (Figura 6.9). Este mecanismo se puede fabricar en terreno, o se puede comprar (p.ej. el dosificador por gravedad SATTE).

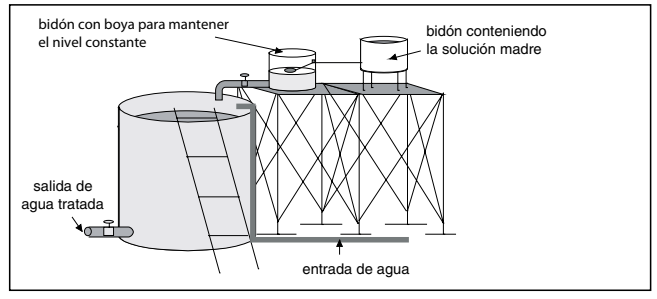


Figura 6.9: Adición de producto químico a caudal constante.

La dosificación a caudal proporcional se lleva a cabo con un alimentador que modifica la tasa de inyección de la solución madre de aditivo químico en función del caudal de agua a tratar (Figura 6.10). Hay diferentes tipos de equipos disponibles, tanto bombas dosificadoras como mecanismos basados en el efecto Venturi. Incluyen bombas dosificadoras convencionales, la bomba dosificadora rotacional Promix, etc. La más fácil de usar es la bomba dosificadora Dosatron, que se puede montar directamente en la tubería de descarga de la bomba.

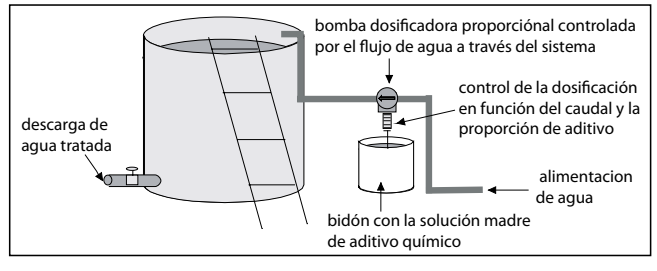


Figura 6.10: Dosificación proporcional.

4 TRATAMIENTO DOMÉSTICO DEL AGUA[1]

En muchos casos, puede ser mucho más rápido, eficaz y menos costoso promocionar el tratamiento del agua en los hogares, en lugar de hacer nuevos puntos de agua o sistemas de tratamiento centralizado al nivel de la comunidad. Además, aunque el agua suministrada en un punto de agua comunitario tenga una buena calidad, puede contaminarse durante el transporte y el almacenamiento en casa (especialmente si los puntos de agua están lejos de los hogares), por lo que necesita un tratamiento en casa.

En los últimos años, la promoción del tratamiento del agua domiciliar tanto en un contexto de desarrollo como de emergencia ocupa un espacio muy importante en las intervenciones de las ONG u organizaciones internacionales como la ONU o la Cruz Roja.

No todos los tratamientos domiciliares son efectivos para reducir todo tipo de agentes patógenos relacionados con el agua, por lo que es importante saber cuáles son los parámetros nocivos que afectan a una fuente de agua específica. Sin embargo, el tratamiento domiciliar y el almacenamiento seguro han demostrado que mejoran significativamente la calidad del agua y reducen el riesgo de enfermedades infecciosas.

(Fewtrell & Colford, 2004; Clasen et al., 2006; http://www.who.int/household_water/en/).

Aunque los principios del tratamiento domiciliar del agua son generalmente los mismos que para el tratamiento en grandes cantidades (ver sección 2 “Tratamiento de grandes cantidades de agua), los productos que se usan y las metodologías son específicas. Esta sección presenta las técnicas más usadas, sus metodologías, eficacia y límites. Estos tratamientos tienen que ser sistemáticamente asociados a un almacenamiento correcto del agua para prevenir la contaminación posterior al tratamiento.

4.1 Desinfección

Si el agua es transparente pero existe la posibilidad de que esté contaminada, es necesario desinfectarla. Este manual describe tres tipos de desinfección: hervido, solar y químico.

La desinfección puede afectar al sabor del agua: el hervido dejará un agua con sabor insípido, el tratamiento solar hará que el agua se caliente y los productos químicos pueden dejar un sabor desagradable. Todos estos problemas pueden tener fácil solución, por lo que es importante hablar sobre esto con la gente que los está utilizando para cerciorarse de que no abandonan el agua potable por una fuente insegura ni dejen de tratar el agua que recogen.

4.1.1 HERVIDO

El hervido es un método tradicional de tratamiento del agua. Si se hace correctamente, puede suministrar agua segura a una población que no tiene otra opción.

Aspectos positivos:

– El hervido destruye todos los gérmenes causantes de enfermedades.

– El hervido del agua es un método que los interesados pueden realizar por sí mismos.

– Se necesita un kilogramo de leña para hervir un litro de agua durante un minuto. El hervido no debe promoverse en zonas en las que la madera es escasa y hay otras opciones disponibles para calentar el agua.

Aspectos negativos:

– El hervido no disminuirá la turbidez del agua.

– El hervido no tiene efecto residual, por lo que un almacenamiento incorrecto puede llevar a la recontaminación. El agua hervida debe almacenarse en condiciones de seguridad y consumirse en los días siguientes a su tratamiento.

1 La información de esta sección está basada en los dos documentos siguientes:
“Guidelines for drinking water quality”, second addendum to the third edition, OMS/WHO, 2008
“Sistemas domésticos de tratamiento y almacenamiento de agua en situaciones de emergencia, FICR, 2008

Duración del proceso:

El hervido es efectivo solamente si la temperatura es suficientemente alta. El agua que está simplemente echando vapor no puede considerarse hervida. Además, la temperatura de ebullición varía con la altitud. Para que el hervido sea eficaz se debe respetar lo siguiente en lo que se refiere a la duración de ebullición:

– A baja altitud, se debe calentar el agua hasta llegar a una ebullición burbujeante.

– A grandes altitudes, la ebullición debe mantenerse unos 2 minutos por cada 1 000 m de altitud sobre el nivel del mar.

El hervido hará que el agua tenga un sabor insípido. Sin embargo, esto puede remediarse agitando el agua en una botella o añadiendo una pizca de sal por litro de agua hervida.

4.1.2 DESINFECCIÓN SOLAR

Exponer el agua a los rayos del sol destruirá la mayor parte de los gérmenes causantes de enfermedades. Este procedimiento es aún más eficaz a altas temperaturas (si bien no es necesario que la temperatura del agua se eleve mucho más de 50°C). Hay diferentes tecnologías que hacen uso de la radiación solar para desinfectar el agua. Algunas, emplean contenedores opacos u oscuros. Estas tienen como principio que el calor generado por la energía solar deja inactivos los microbios. Otras, como el sistema SODIS, utilizan contenedores transparentes, de forma que la radiación UV penetra en el contenedor y asociada al oxígeno y al calor, tiene un efecto oxidante.

Aspectos positivos:

– La desinfección solar destruye la mayoría de los gérmenes causantes de enfermedades si se exponen suficientemente a los rayos solares.

– La desinfección solar es un método que los interesados pueden realizar por sí mismos con materiales ampliamente disponibles (botellas transparentes o bolsas de plástico transparente).

– Se puede realizar fácilmente en zonas rurales, aun lejos del pueblo (cuando la gente va a los campos cultivados, por ejemplo).

Aspectos negativos:

– La desinfección solar no tiene efecto residual, por lo que un almacenamiento inapropiado puede conducir a la recontaminación. El agua tratada con este método deberá almacenarse en condiciones de seguridad y consumirse en los días siguientes a su tratamiento.

– La desinfección solar requiere más tiempo que otros métodos y un clima soleado.

– El agua tiene que enfriarse antes de beberse.

Método SODIS

Exponer botellas de plástico o vidrio con agua a los rayos solares.

Para aumentar la temperatura del agua, se coloca bajo la luz directa del sol. Para mayor eficacia se puede colocar la botella en un techo de chapa acanalada. El agua también se puede poner en una bolsa de plástico transparente si no hay botellas disponibles. Para mayor eficacia, se puede pintar de negro la mitad de la botella que no está expuesta al sol, para aumentar la temperatura.

Se puede acelerar el proceso, llenando la botella hasta tres cuartos de su capacidad y agitándola vigorosamente. Luego se termina de llenar y se expone a la luz del sol. También ayudará volver a agitarla esporádicamente durante la exposición.

En las regiones tropicales, un periodo de exposición seguro es de cinco horas, alrededor del mediodía. La cantidad de tiempo de exposición solar de la botella deberá duplicarse (dos días en lugar de uno) cuando el agua esté turbia. El tiempo de exposición también debe prolongarse cuando el tiempo no sea soleado (estación de lluvias).

4.1.3 DESINFECCIÓN QUÍMICA

La desinfección química del agua potable incluye cualquier tecnología basada en el cloro, en el ozono u otro tipo de oxidantes y ácidos y bases fuertes. Excepto el ozono, la dosificación adecuada de estos desinfectantes deja un residuo en el agua que la protege de posibles contaminaciones post-tratamiento durante el almacenamiento.

Los productos químicos usados varían frecuentemente en cuanto a su eficacia y seguridad.

La desinfección de agua potable en países desarrollados se hace fundamentalmente con cloro libre, disponible como hipoclorito de sodio (llamado comúnmente lejía). Esto se debe a que es barato, eficaz, ampliamente disponible, utilizado a nivel mundial y de fácil dosificación.

El uso del yodo, que es también un oxidante fuerte, no es recomendable porque la ingesta excesiva puede tener efectos adversos en la glándula tiroides. El ozono tampoco se recomienda para el tratamiento domiciliario del agua debido a la necesidad de una fuente fiable de electricidad para generarlo, a la complejidad del proceso, de la dosificación correcta en una pequeña aplicación, y su costo relativamente alto.

El problema de los ácidos o bases fuertes como desinfectantes químicos para el agua potable, es que son productos químicos peligrosos que pueden alterar el pH del agua a niveles peligrosamente bajos o altos. Sin embargo, en caso de emergencia o intervención a corto plazo, los jugos de algunos cítricos, como los limones, se pueden añadir al agua para inactivar el *Vibrio cholerae*, si se añade la cantidad suficiente para bajar el pH del agua (probablemente a un pH de menos de 4,5).

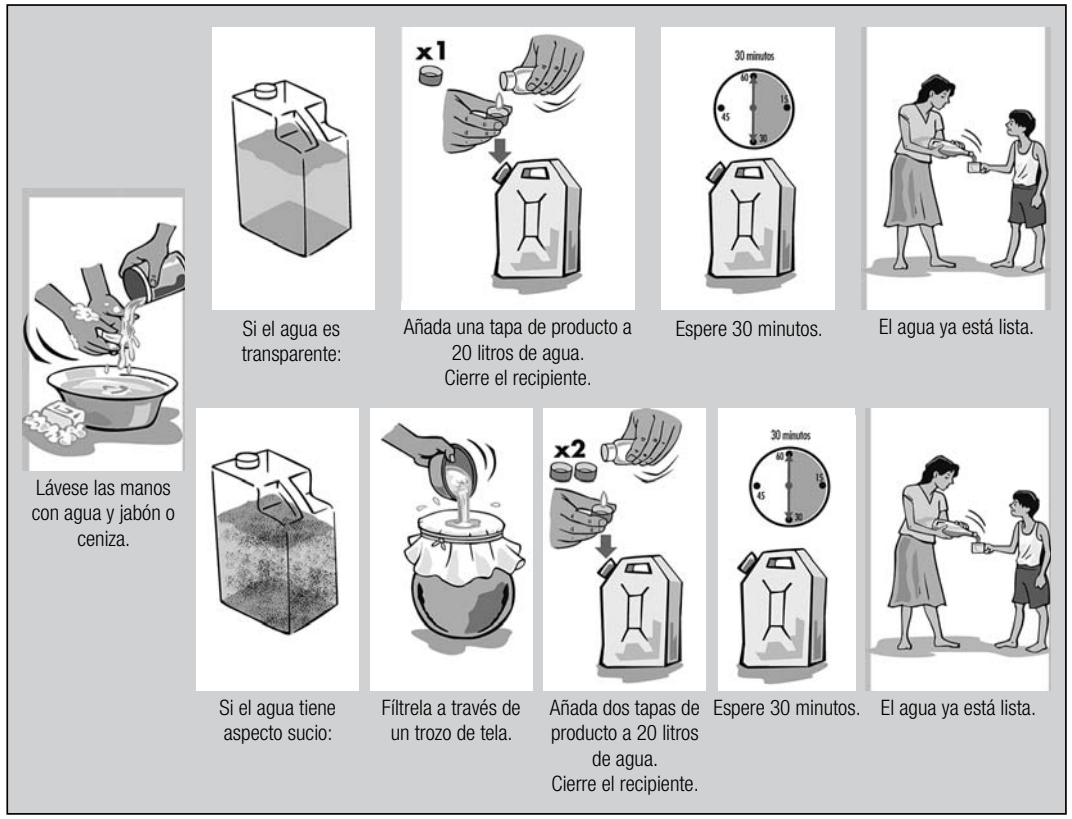


Figura 6.11. Ejemplos prácticos de Tratamiento del agua con WaterGuard (Sûr'Eau). Fuente: IFRC.

Aquatab® (Medentech), en pastillas.

Sûr'Eau® (or Waterguard), en solución. Vendidos en Guinea Conakry, promocionados por la ONG PSI.

Figura 6.12. Ejemplos de productos eficaces disponibles en el mercado.

Estos productos son fáciles de usar y seguros. También existe un efecto residual de desinfección, lo cual brinda cierto grado de protección contra la contaminación después del tratamiento. Sin embargo se deben tomar algunas precauciones cuando se quiere promocionar una cloración domiciliar del agua:

– La cloración (y la desinfección química en general) no es eficaz cuando se realiza en agua sucia o turbia. Siempre hay que pre-tratar el agua turbia con tela o floculación/sedimentación. Si el agua sigue teniendo un aspecto sucio o turbio, utilice una dosis doble del producto químico.

– Evitar hacerlo cuando la población no tiene conocimientos de higiene básicos. Se corre el riesgo de que el cloro sea usado como medicina, o que no se respeten las cantidades adecuadas.

– Evitar hacerlo si hay un rechazo fuerte del cloro por parte de la población (cosa que ocurre a veces con poblaciones indígenas en América Latina, por ejemplo).

– Es necesario ser muy cuidadoso cuando se trabaja con productos químicos, y la distribución tiene que ser acompañada de una sensibilización fuerte (hay que evitar el contacto de estos productos con los ojos, los productos químicos deben almacenarse fuera del alcance de los niños, en un lugar seco sin luz solar directa, etc…).

– Estos productos contienen a menudo instrucciones en el envase. Sin embargo, las instrucciones podrían no estar en el idioma que habla la población o quizás los residentes no sepan leer.

– Por razones de sostenibilidad y coherencia, siempre será mejor utilizar un producto que se pueda encontrar en el mercado local (botellas de lejía p.ej.), que un producto importado.

– La cloración, especialmente con el doble de la dosis, puede hacer que quienes la beban le encuentren un sabor desagradable. Esto podría inducirlos a interrumpir el tratamiento del agua. El problema del agua con sabor a cloro puede eliminarse utilizando la cantidad correcta del producto y agitando el agua en la botella para aumentar el contenido de aire.

– Dejar un recipiente o contenedor abierto y expuesto al calor (a la luz solar directa, por ejemplo) reduce la capacidad de protección del cloro contra la contaminación. Aliente a las personas a mantener el agua cubierta y lejos de la luz solar directa siempre que sea posible.

4.2 Floculación, precipitación y/o sedimentación

Son metodologías que emplean un floculante o precipitante natural o químico para flocular o precipitar las partículas en suspensión, incluyendo los microbios, para mejorar su sedimentación.

Estos métodos se pueden utilizar junto con un paño o tela como medio adicional para eliminar

los flóculos (partículas coaguladas y precipitadas que se forman en el agua). Incluyen la sedimentación simple (sin la utilización de un floculante químico).

Tabla 6.VIII: Descripción y recomendaciones para el uso de productos que liberan cloro para el tratamiento domiciliar del agua (Guideline for drinking water quality, second addendum to third edition, volumen 1, 2008, WHO).

Método	Recomendación	Efectivo	No efectivo
Compuestos que liberan cloro			
1. Lejía casera (hipoclorito sódico)	– El tiempo mínimo de contacto a temperatura ambiente de 25ºC debe ser de 30 min.; aumentar el tiempo de contacto para temperaturas menores. P.ej.: doblar este tiempo 10ºC menos de temperatura por debajo de los 25ºC	– Destrucción efectiva de muchas bacterias y virus – Se requiere mayor tiempo de contacto para matar huevos de Giardia, y más en agua fría	– No es efectivo contra el Criptosporidium, el yodo es más efectivo en agua turbia
2. Tableta de dicloro isocianurato sódico	– Preparar según instrucciones		
3. Hipoclorito cálcico	– Añadir al agua clarificada para que sea efectivo. – Tipo y dosis típica: 1. Lejía casera (5%): 4 gotas/lit 2.Dicloro isocianurato sódico: 1 tableta (según se indique en el envase) 3. Hipoclorito cálcico (solución madre al 1%): 4 gotas/lit		
4. Floculante-clorito, tableta o bolsita	– Dosificar según envase	– Efectivo para eliminar la mayoría de los patógenos que lleva el agua (los coagulantes eliminan parcialmente el Criptosporidium)	– El agua decantada ha de verterse en un recipiente limpio, tras filtrarse por un paño limpio

Cuidado: El agua que se ha vuelto ***transparente*** mediante sedimentación ***no es potable,*** aunque la concentración en micro-organismos sea generalmente mucho menor. Necesita aún ser desinfectada para destruir los gérmenes causantes de enfermedades. Pero una vez que el agua sucia se ha vuelto transparente la desinfección es más eficaz.

4.2.1 SEDIMENTACIÓN SIMPLE: MÉTODO DE LAS TRES VASIJAS

El método de las tres vasijas reduce la suciedad y los gérmenes que causan enfermedades mediante el almacenamiento del agua en recipientes que permiten que la suciedad se asiente y trasvasando el agua más limpia a diferentes recipientes después de un tiempo.

El método de las tres vasijas es una buena medida provisional que puede adoptarse en una situación de emergencia hasta que sea posible la distribución masiva u otros métodos o mejorar la calidad de la fuente.

En una situación de emergencia, las familias pueden no disponer de tres recipientes. Aunque probablemente sea menos eficaz que el método descrito más arriba, se pueden utilizar dos recipientes en lugar de tres. En este caso se debe esperar más tiempo para que la suciedad se asiente y se destruyan los gérmenes que causan enfermedades.

Aspectos positivos:

– El método de las tres vasijas reduce considerablemente la suciedad y los gérmenes causantes de enfermedades del agua.

– Este método es de bajo costo, fácil de usar y se puede llevar a cabo con recursos locales.

Aspectos negativos:

– Este método reduce, pero no destruye totalmente, los gérmenes que causan enfermedades.

La desinfección mediante hervido, productos químicos o radiación solar sigue siendo necesaria para eliminar todo riesgo de enfermedad.

¿Cómo utilizar el método de las tres vasijas?

Todos los días, al traer agua recién cogida a la casa:

A Beba agua de la vasija 3.
B Vierta lentamente el agua de la vasija 2 en la vasija 3.
C Limpie la vasija 2.
D Vierta lentamente el agua de la vasija 1 en la vasija 2.
E Limpie la vasija 1.
F Vierta el agua recogida de la fuente (balde 4) en la vasija 1.

Filtre a través de una tela si es posible. Deje que el agua se asiente durante un día y repita el proceso.
Beba agua solamente de la vasija 3. Esta agua ha estado almacenada al menos 2 días y su calidad ha mejorado.
Periódicamente esa vasija debe ser lavada y esterilizada con agua hervida y cloro. La utilización de un tubo flexible para trasvasar agua de una vasija a otra provoca menos perturbación en el agua que verterla directamente.
Este método puede mejorarse utilizando un trozo de tela como filtro cuando se vierte el agua en las vasijas.

Fig 6.13: Sedimentación natural optimizada: método de las 3 vasijas (Fuente: FICR).

4.2.2 SEDIMENTACIÓN QUÍMICA

La sedimentación química consiste en utilizar productos químicos para acelerar la eliminación de la suciedad del agua. Actualmente muchos de los productos diseñados para tratamiento de agua potable en casa también cloran el agua al mismo tiempo. Estos productos contienen dos sustancias químicas:

– Una sustancia actúa como un adhesivo y hace que las partículas pequeñas se mantengan unidas. Esto crea partículas más grandes, llamadas floc (flóculos), que precipitan al fondo del recipiente más rápidamente.

– Otra sustancia química desinfecta el agua transparente, de manera similar a la desinfección química descrita anteriormente en este manual.

La sedimentación química se puede mejorar utilizando una tela como filtro cuando se vierte el agua en los recipientes.

Aspectos positivos:

– Estos productos pueden hacer que el agua turbia sea potable y segura.

– Esta desinfección tiene un efecto residual que brinda protección contra la contaminación después del tratamiento.

Aspectos negativos:

– Estos productos son más complicados de utilizar y requieren más capacitación y seguimiento.

– Estos productos son significativamente más costosos por litro de agua tratada que los productos de desinfección química y sólo deben utilizarse cuando el agua esté turbia o no haya otros productos disponibles.

– Las familias necesitarán más de un recipiente para utilizar apropiadamente estas sustancias químicas.

5g para 20 litros | 2,5g para 10 litros | 4g para 10 litros

Figura 6.14: Los dos productos de sedimentación química y desinfección más utilizados por la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja en situaciones de emergencias son PUR® y Watermaker®. Estos productos químicos son útiles, especialmente en casos de inundación, debido a que eliminan la suciedad del agua y desinfectan. Ambos son apropiados para el tratamiento del agua en situaciones de emergencia.

4.3 Filtración

La filtración domiciliar consiste en hacer pasar el agua a través de una superficie (o varias superficies) porosa para eliminar y retener los microbios por exclusión de tamaño. La mayoría de las tecnologías de filtro domiciliares funcionan por gravedad. Los filtros presentan un tamaño de poro definido e incluyen filtros de carbono, de cerámica porosa que contenga plata coloidal, membranas reactivas, membranas de polímeros y fibras o filtros de tela.

4.3.1 FILTRACIÓN A TRAVÉS DE UNA TELA

Pasar el agua a través de una tela es un primer paso importante que, si se hace correctamente, mejorará la eficacia de todos los métodos de tratamiento domiciliar mencionados en este manual. Verter agua de aspecto turbio o sucio sobre un trozo de tela fina de algodón extraerá cantidades de sólidos en suspensión y de larvas de insectos que se encuentran en el agua.

Las telas de algodón son las de mejor resultado y no tendrían que permitir el paso de la luz. Es mejor usar una tela usada que una nueva, las fibras deshilachadas reducirán el tamaño de los poros en la filtración. Por otra parte la tela no debe ser muy gruesa para no prolongar demasiado el tiempo de filtrado del agua.

Se recomienda lavar el trozo de tela con jabón o cloro después de cada uso para aumentar la eficacia de la filtración. La filtración a través de una tela posiblemente no logre que el agua de una fuente contaminada resulte completamente segura para beber, pero facilitará su tratamiento doméstico.

Los filtros de tela, como los de tela de sari, se recomiendan para reducir el *Vibrio cholerae* en el agua. Sin embargo, estos filtros reducen *vibriones* asociados únicamente con *copépodos,* u otros grandes *crustaceans* retenidos en la tela, pero no retienen los *vibriones* u otras bacterias dispersas, ya que los poros de la tela son mucho mayores que las bacterias y les permite pasar.

4.3.2 FILTROS CERÁMICOS

Los filtros de cartuchos cerámicos son muy indicados para uso doméstico, o para estructuras sanitarias pequeñas. Se recomienda por ejemplo el uso de filtros del tipo Katadyn@, ya que su apertura de poro (0,2 µm) permite un tratamiento efectivo contra organismos patógenos (con la excepción de los virus, cuya eliminación es muy limitada).

Aplicación y parámetros técnicos

Técnica de filtración	Aplicación	Parámetros técnicos
Cartuchos cerámicos	Uso doméstico Tratamiento de la turbidez Filtro de tipo Katadyn®: eliminación de organismos patógenos	límite de la filtración: 0,45 µm filtro tipo Katadyn: 0,2 µm caudal: 1 a 4 l/h

Cuando sea posible, se deberá hervir también el cartucho del filtro para destruir los gérmenes causantes de enfermedades adheridos a su superficie.

A parte de los filtros de cartuchos cerámicos, generalmente importados y de producción industrial, existen filtros cerámicos de producción local (ver Figura 6.15). Generalmente, la superficie filtrante está recubierta de plata coloidal, un producto bactericida, para aumentar su eficacia.

Kosim Filter, fabricados en Ghana por la ONG "Pure Home water", siguiendo los diseños de la ONG Potters for Peace.

Filtros cerámicos utilizados por ACF-E - Colombia para asegurar agua potable a los desplazados. Son cubos de plástico equipados con un cartucho de cerámico de marca Pozzani o Stefani (Brasil). Su precio ronda los 28€ en 2010.

Fig 6.15: Ejemplos de filtros cerámicos.

Aspectos positivos:

– Estos productos son fáciles de usar y seguros.

– Si se mantienen adecuadamente, este producto puede utilizarse para producir agua potable durante mucho tiempo.

Aspectos negativos:

– Estos productos son costosos y a menudo frágiles. Su disponibilidad en el mercado local es aleatoria.

– Puede llevar mucho tiempo tratar el agua, especialmente el agua muy sucia.

– Este método no tiene efecto residual de desinfección por lo que se debe cubrir el contenedor o recipiente de agua potable para protegerlos de la contaminación.

– Estos productos requieren un mantenimiento regular y mayor capacitación y seguimiento.

4.3.3 FILTROS DE ARENA RÁPIDOS

La filtración a través de arena es una opción rápida y sencilla de pretratamiento domiciliar que reduce la cantidad de suciedad en el agua y aumenta la eficacia de la desinfección. Se puede hacer de forma muy sencilla, rellenando una botella de PVC de arena, por ejemplo. Para mejorar la filtración, se suele también añadir a la arena otras capas: de carbón, carbón activo[1], gravilla, o tela. Ver Figura 6.16.

Se recomienda cambiar o limpiar los materiales usados cada 3 meses. El carbón se tiene que cambiar, porque los micro-poros se tapan progresivamente.

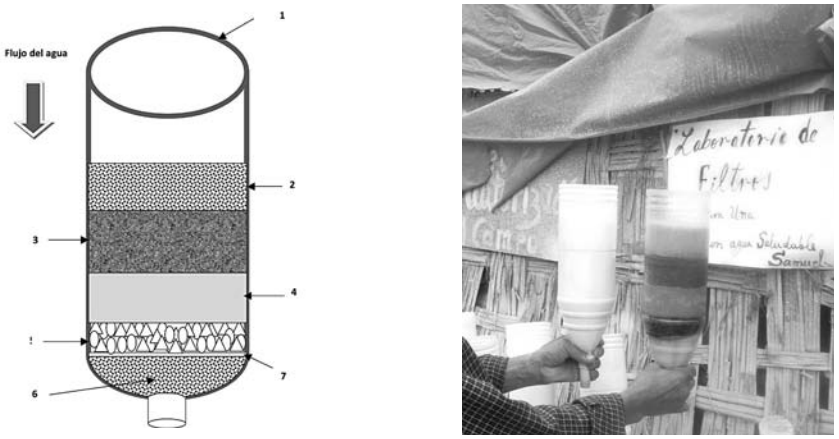
Aspectos positivos:

– Este método es sencillo, rápido.

– Es de bajo coste si se dispone localmente de arena y recipientes.

– El carbón puede reducir el olor o color del agua.

– Es eficaz para extraer la suciedad y algunos gérmenes causantes de enfermedades, lo que en ocasiones contribuye al mejor funcionamiento de los otros métodos de tratamiento de agua.



1. Botella de gaseosa (2,5 l) envase plástico rígido, base recortada.
2. Esponja sintética de forma cilíndrica (opcional). Este producto está ampliamente disponible localmente en la zona de intervención de ACF en Perú - 5 cm.
3. Arena de río (lavada) - 7 cm.
4. Rollo de tela sintética, enrollado fuertemente sobre si mismo, en posición vertical, - 5cm.
5. Carbón vegetal de Eucalipto - 3 cm.
6. Tela sintética (paño pequeño extendido).
7. Esponja sintética (opcional) en forma de cono pequeño - 5 cm.

Foto de los filtros.
• Se aconseja pintar la superficie para evitar la entrada de luz que posibilita la formación de plantas acuáticas.
• En condiciones reales, se consiguió una eficacia del 62% en reducción de turbiedad, y 70% en reducción de coliformes fecales.

Figura 6.16: Filtros de arena rápidos promocionados por ACF-España en la región de Pisco, Perú, tras el terremoto de 2007.

Aspectos negativos:

– No se puede conseguir un tratamiento totalmente eficaz.

4.3.4 FILTROS LENTOS DE ARENA

Del mismo modo que para el tratamiento de grandes cantidades de agua (ver Sección 2 "Tratamiento de grandes cantidades de agua"), los filtros de arena pueden ser construidos a nivel domiciliar. Como ejemplo ver Figura 6.17.

1 El carbón tiene micro-poros que puede absorber elementos disuelto dentro del agua. El carbón activo es un carbón sometido a una transformación industrial que aumenta sus propiedades absorbentes.

4 niveles de tratamiento

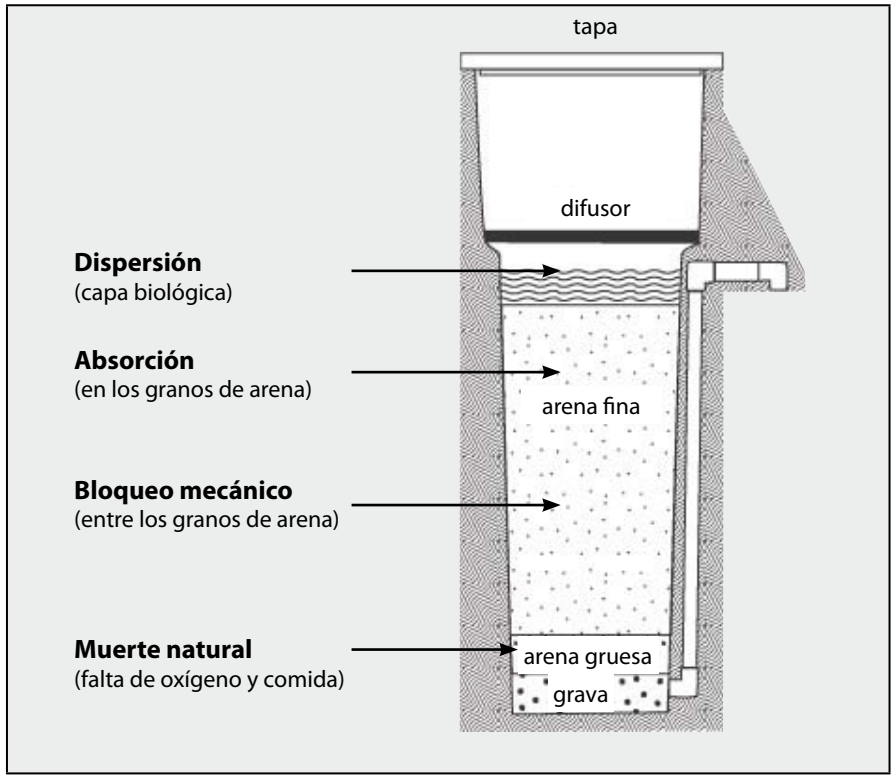


Figura 6.17: Esquema y funcionamiento de un filtro de arena hecho de hormigón con molde metálico. Sin embargo el diseño puede variar según los materiales disponibles (bidón de plástico, barril metálico, etc.).

Es recomendable limpiar el filtro cada 3 meses, para evitar que se atasque. Para la limpieza, se aconseja cambiar la arena, o sencillamente si no hay arena disponible en la zona, agitar la arena dentro del agua (lo que pone en suspensión la suciedad en la parte superior del agua) para quitar el agua sucia. Se recomienda también una limpieza con cloro cada año.

Dado que la capa biológica requiere entre 1 y 2 semanas para formarse, el filtro no tratará el agua adecuadamente cuando se use por primera vez ni después de las limpiezas, durante estos periodos actuaría solo como un filtro de arena rápido.

Aspectos positivos:

– Con un mantenimiento correcto, estos filtros pueden tratar agua eficazmente durante mucho tiempo.

Aspectos negativos:

– El tratamiento del agua puede llevar mucho tiempo, en especial cuando el agua está muy sucia.

– Esta desinfección carece de efecto residual, por lo que se debe cubrir el contenedor o recipiente de agua potable para protegerlo de la contaminación.

– Estos filtros requieren mantenimiento regular y mayor capacitación y seguimiento.

– Si bien estos filtros son de uso sencillo, requieren disponer de capacitación en el momento de la distribución.

Tabla 6.IX: Descripción y recomendaciones para el uso de filtros en el tratamiento domiciliar del agua potable (Guideline for drinking water quality, second addendum to third edition, volumen 1, 2008, WHO).

Método	Recomendación	Efectivo	No efectivo
Artículos portátiles para el filtrado: 1. Filtros cerámicos 2. Filtros de carbón: Algunos filtros de carbón pueden extraer el Criptosporidium sólo los que se han probado y están certificados para eliminar los huevos 3.Filtros de membrana. (microfiltros, ultrafiltros, nanofiltros y membranas para ósmosis inversa)	– Verificar la clasificación de tamaño de poro y eficiencia extractiva para varios patógenos (virus, bacterias y protozoos) suministrada por el fabricante y certificada por algún organismo especializado nacional o internacional. El tamaño de poro del filtro debe estar certificado a 1 micra (en términos absolutos) o inferior. Hay que tener en cuenta que el agua ha de ser pura para evitar la obstrucción de los poros – Se recomienda filtrar o sedimentar el agua turbia antes de desinfectar con cloro o yodo, si no se hierve	– Filtros con tamaño de poro de 1 micra o inferior, extraerán los Giardia, Criptosporidium y otros protozoos – Membranas certificadas para usarse en ósmosis inversa, extraerán casi todos los patógenos – Algunos filtros contienen un desinfectante químico, como cloro o yodo que matan los microbios, verificar la información del fabricante y la documentación al efecto de organismos competentes	– La mayoría de las bacterias y virus no se extraerán por filtros con tamaño de poro superior a 1 µ Los microfiltros no pueden extraer virus, especialmente si el agua es clara; se requiere un tratamiento adicional como la desinfección química o hervido/ pasteurización para reducir el número de virus La mayoría de los filtros de carbón no eliminan patógenos, como no sean los protozoos, aun cuando esté impregnado con plata, porque el tamaño de poro es muy grande (>1µ)

4.4 Comparación, eficacia y limites de las distintas metodologías de tratamiento de agua domiciliar[1]

En la Tabla 6.X se resumen las reducciones estimadas de bacterias, virus y parásitos de protozoos transportados por el agua según los tratamientos mencionados anteriormente. Estas reducciones se basan en los resultados de estudios publicados en la literatura científica. Se indican dos clases de efectividad: reducción básica y reducción máxima:

– La reducción básica es la que se espera típicamente en la práctica real sobre el terreno cuando la desinfección se lleva a cabo por personas relativamente poco formadas, que aplican el tratamiento en aguas turbias de calidad media o variable, en países en vías de desarrollo y donde hay un mínimo de medios o elementos de apoyo para optimizar las condiciones y prácticas del tratamiento.

La reducción máxima es la que se puede llevar a cabo por operadores especializados, apoyados por una buena instrumentación y otras herramientas que permiten mantener el mayor nivel de actuación en aguas de calidad predecible que no cambia sustancialmente (p.ej. un agua de prueba que contiene concentraciones conocidas de microbios).

Tabla 6.X: Reducción de bacterias, virus y protozoos obtenidas con tecnologías tratamiento domiciliar.

Proceso de tratamiento	Grupo de patógeno enterítico	Reducción básica (LRV)	Reducción máxima (LRV)	Notas
Desinfección química				
Desinfección por cloro libre	Bacterias Virus Protozoos, distintos del *Criptosporidium* *Criptosporidium*	3 3 3 0	6 6 5 1	La turbidez y otros solutos que consumen cloro son inhibidores de este proceso; el producto: cloro libre x tiempo predice la eficacia; no actúa contra los huevos de *Criptosporidium parvus.*
Desinfección solar				
Desinfección solar (radiación UV solar+ efectos térmicos)	Bacterias Virus Protozoos	3 2 2	5+ 4+ 4+	Variable según la oxigenación, intensidad solar, tiempo de exposición, temperatura, turbidez y tamaño del recipiente (profundidad del agua)
Técnicas que usan lámparas de luz UV				
Radiación UV	Bacterias Virus Protozoos	3 2 3	5+ 5+ 5+	El proceso puede inhibirse por una turbidez excesiva o por ciertas sustancias disueltas; la eficacia depende de la dosis: intensidad, exposición, longitud de onda UV
Técnicas basadas en el calentamiento				
Tratamientos térmicos (hervido)	Bacterias Virus Protozoos	6 6 6	9+ 9+ 9+	Las cifras se basan en células vegetales; las esporas son más resistentes a la desactivación térmica; el tratamiento para reducir las esporas ha de durar más y a mayor temperatura
Coagulación, precipitación y/o sedimentación				
Sedimentación simple	Bacterias Virus Protozoos	0 0 0	0,5 0,5 1	Efectividad limitada a la sedimentación de microbios de gran tamaño o asociados con las partículas que sedimentan Varía con el tiempo de almacenamiento y las partículas del agua
Combinación de tratamientos				
Sistemas de floculación/ desinfección (p.ej. con saquitos comerciales de polvos o tabletas)	Bacterias Virus Protozoos	7 4,5 3	9 6 5	Se puede eliminar algo de *Ciclosporidium* por coagugulación
Membrana, cerámica porosa, filtros de compuestos				
Filtración por filtros cerámicos y de carbón	Bacterias Virus Protozoos	2 1 4	6 4 6	Variable según tamaño de poro, caudal e impregnación con plata u otro producto químico
Filtración con membranas	Bacterias	2MF; 3 UF NF ó RO	4 MF; 6 UF NF ó RO	Variable según tamaño de poro de la membrana (micro, ultra, nano y ósmosis inversa) comportamiento del filtro y de los sellos y resistencia a la degradación química y biológica (crecimiento interno)
Fibras y tejidos (p.ej. filtros de tejido de sari)	Bacterias Virus Protozoos	1 0 0	2 0 1	La asociación de partículas o de plancton aumenta la eliminación de microbios, especialmente el gusano de guinea (copépodo) *Dracuncula medinensis* y el *Vibrio del cólera* (asociado al plancton); se pueden eliminar los grandes protozoos (> 20 micras); no tienen efecto sobre virus o bacterias dispersas ni pequeños protozoos *(Giardia intestinalis, 8-12 micras, Cristosporidium Parvum, 4-6 micras)*
Medios filtrantes granulares				
Filtros granulares rápidos, tierra de diatomeas, biomasa y los basados en combustibles fósiles (carbón en polvo y granular, cenizas de carbón y madera, cáscaras de arroz quemadas)	Bacterias Virus Protozoos	1 1 1	4+ 4+ 4+	Varía considerablemente con el medio filtrante y sus propiedades, caudal y operación; algunas opciones están más indicadas que otras en ciertos países en desarrollo)
Filtración lenta por arena, operada intermitentemente	Bacterias Virus Protozoos	1 0,5 2	3 2 4	Varía con el desarrollo del filtro, condiciones operativas, caudal, tamaño de partícula y tiempo de contacto con el medio filtrante

LRV: $\log_{10}$ del valor de la reducción; MF: microfiltro; NF: nanofiltro; RO: ósmosis inversa; UF: ultrafiltro.

Por ejemplo: una reducción de 2 LRV quiere decir que la relación de reducción es de 10^2. En este caso, si el agua contenía inicialmente 1000 bacterias / 100 ml, tras el tratamiento quedarían 10 bacterias / 100 ml.

1. Esta sección es un extracto de los Guideline for drinking water quality, second addendum to third edition, volumen 1, 2008, WHO).

Los valores de la Tabla 6.X no tienen en cuenta la posible contaminación post-tratamiento del agua almacenada, que puede limitar la efectividad de algunas técnicas cuando no se practican métodos de almacenamiento seguro. Por ejemplo, el agua de los filtros cerámicos domiciliares suele presentar una ligera contaminación fecal causada a menudo por el recipiente inferior del filtro, cuando no se limpia con frecuencia. Las técnicas más indicadas para la desinfección domiciliar incluirán métodos de almacenamiento seguro, tales como tapar los recipientes y recipientes de cuello estrecho y dotados de una espita para servirse del agua almacenada.

CAPÍTULO VII

Manantiales

1	**Captaciones en manantiales**	165	1.5	Depósito de captación de un manantial	170
1.1	Medida del caudal	165	1.6	Depósito para una red de distribución por gravedad	170
1.2	El contexto hidrogeológico	165	1.7	Depósitos para una red de distribución por bombeo	172
1.3	Tipos de captaciones de manantial	166	**2**	**Ejemplos de campo**	172
1.4	Equipamiento de los manantiales	169	2.1	Captación del manantial	172

1 CAPTACIONES EN MANANTIALES

En términos generales, los manantiales ofrecen agua subterránea de buena calidad y fácilmente aprovechable. Se explotan generalmente de forma tradicional, como se explica en adelante en el presente capítulo.

1.1 Medida del caudal

Las medidas del caudal son necesarias para estimar el rendimiento de los manantiales a lo largo del año. Para una mayor precisión, es esencial tomar medidas a lo largo de un periodo lo suficientemente largo como para poder tener en cuenta las fluctuaciones del caudal*. En la práctica, a menudo resulta imposible obtener información cuantitativa sobre el caudal a lo largo de un amplio período de tiempo, pero las comunidades locales suelen tener un buen conocimiento del comportamiento de los manantiales. Es, por tanto, importante llevar a cabo la investigación de campo en compañía de una persona del lugar.

Los caudales mínimos y normales se pueden estimar a partir de las medidas que se hagan y de la información suministrada por los usuarios. El caudal mínimo se compara con la demanda de la población y es ésta la base sobre la cual se decidirá si se construye o no de un tanque de almacenamiento. El caudal normal sirve para el diseño del rebosadero. Las técnicas de medida de caudales se dan en el Capítulo IX.

*Si el período de medida del caudal es lo suficientemente largo puede proporcionar la curva de reducción del rendimiento del manantial y proporcionar información acerca de las reservas del sistema. Si bien para estimar las reservas del sistema es necesario a su vez tener una estimación del área drenada por el manantial.

1.2 El contexto hidrogeológico

Durante la visita previa, es importante identificar el contexto hidrogeológico de la zona donde aflora el manantial (ver Capítulo X). Generalmente, se pueden identificar los siguientes tipos**:

– manantiales en zonas fracturadas, por ejemplo los que emergen por grietas ampliadas por las raíces de un árbol. Estos manantiales pueden ser artesianos, aunque su área de descarga esté claramente delimitada se puede considerar la construcción de una cámara de captación;

– manantiales en tierras bajas, típicos de zonas rocosas, corresponden a un afloramiento del acuífero en una depresión topográfica. La descarga de estos manantiales es a menudo difusa y se recomienda generalmente la captación por medio de una galería filtrante o de un pozo;

– manantiales en laderas, que se encuentran a menudo en el punto donde coinciden el nivel piezométrico (acuífero no confinado) o el techo del acuífero (acuífero confinado) con la superficie topográfica. La zona por donde afloran estos manantiales suele ser difusa, excepto en los barrancos.

Se puede dibujar un esquema de la sección geológica para visualizar el contexto hidrogeológico.

También es importante encontrar el punto de afloramiento inicial del manantial, que puede estar oculto debajo de materiales de desprendimientos, en una zona pantanosa o en un terreno desnivelado.

También puede darse el caso de que la zona de descarga varíe a lo largo del año. La inspección del terreno ha de ser por tanto meticulosa. Ciertos indicadores sencillos pueden ayudar también a determinar el contexto.

– variaciones estacionales del caudal dan una idea de la inercia del sistema y por tanto de su tasa de transferencia (transferencia de presión o caudal);

– la respuesta del manantial a un chubasco aislado puede proporcionar una estimación de la respuesta del sistema a un estímulo e indicar por tanto su vulnerabilidad;

– las variaciones en la calidad del agua, especialmente la turbidez, complementan esta información.

**Esta clasificación no se corresponde con la que se usa comúnmente en hidrogeología (manantiales artesianos, manantiales que rebosan, manantiales que afloran y manantiales de descarga), que no tienen mucha aplicación en el campo.

1.3 Tipos de captaciones de manantial

El objetivo es la obtención del rendimiento máximo del manantial, al tiempo que se protege de la contaminación exterior, especialmente de la de origen fecal. Cada captación de un manantial es un caso especial: no se puede ofrecer por tanto un modelo único adaptado a todas las situaciones. Hay sin embargo dos tipos básicos, cada uno de ellos corresponde a las restricciones particulares que se dan en terreno en cada caso (Tabla 7.I).

Tabla 7.I: Técnicas de captación de manantiales.

Técnica de captación	Tipo de manantial	Ventaja	Desventaja
Cámara de captación	área de descarga localizada y poco profunda	captación accesible	a menudo requiere un trabajo de construcción mayor
Galería de infiltración	área de descarga difusa y/o profunda	fácil de realizar	captación inaccesible

La elección de la técnica de captación se determina durante la visita al lugar, pero se decide principalmente a medida que progresa la excavación. Las figuras 7.1 y 7.2 ilustran los principios de la captación de manantiales por medio de cámaras y galerías de infiltración. El proceso es como sigue:

– limpiar toda la zona del afloramiento para localizar exactamente las salidas de agua;
– excavar hacia el sitio de donde viene el agua, cuidándose de no obstruir el caudal;
– parar la excavación al alcanzar el nivel impermeable:
• si el afloramiento se localiza con precisión y no es muy profundo (menos de 2 m), se construye una cámara de captación y un muro de contención para proteger la estructura;
• si el afloramiento es difuso y/o profundo, se construye un muro de contención con una galería filtrante detrás;
– colocar salidas y rebosaderos correctamente por debajo del nivel del afloramiento;
– levantar una valla de protección.

Las estructuras, concretamente el muro de contención para la galería filtrante o la cámara de captación, se pueden hacer de mampostería o de hormigón armado. Las galerías de infiltración constan de piedras redondeadas de 5 a 10 cm apiladas tras el muro o utilizando gaviones tras el muro. Se puede añadir una tubería de PVC perforada dentro de la galería para minimizar las pérdidas de carga.

La técnica de captación por galerías de infiltración selladas con arcilla (Figura 7.3) se usa generalmente en zonas en las que la arcilla se extrae durante la excavación (ACF, Ruanda y Burundi, 1996).

Se han de seguir estrictamente tres reglas para construir una captación del manantial fiable:

La captación nunca debe estar sujeta a contra-presiones: el nivel del agua en la cámara o en la galería de infiltración debe estar situado en todo momento por debajo del nivel de afloramiento inicial. La captación debe drenar el acuífero manteniendo la extracción desde el nivel piezométrico, pero no debe de incrementar la presión, o en su caso el manantial podría perderse. Se puede usar una estaca

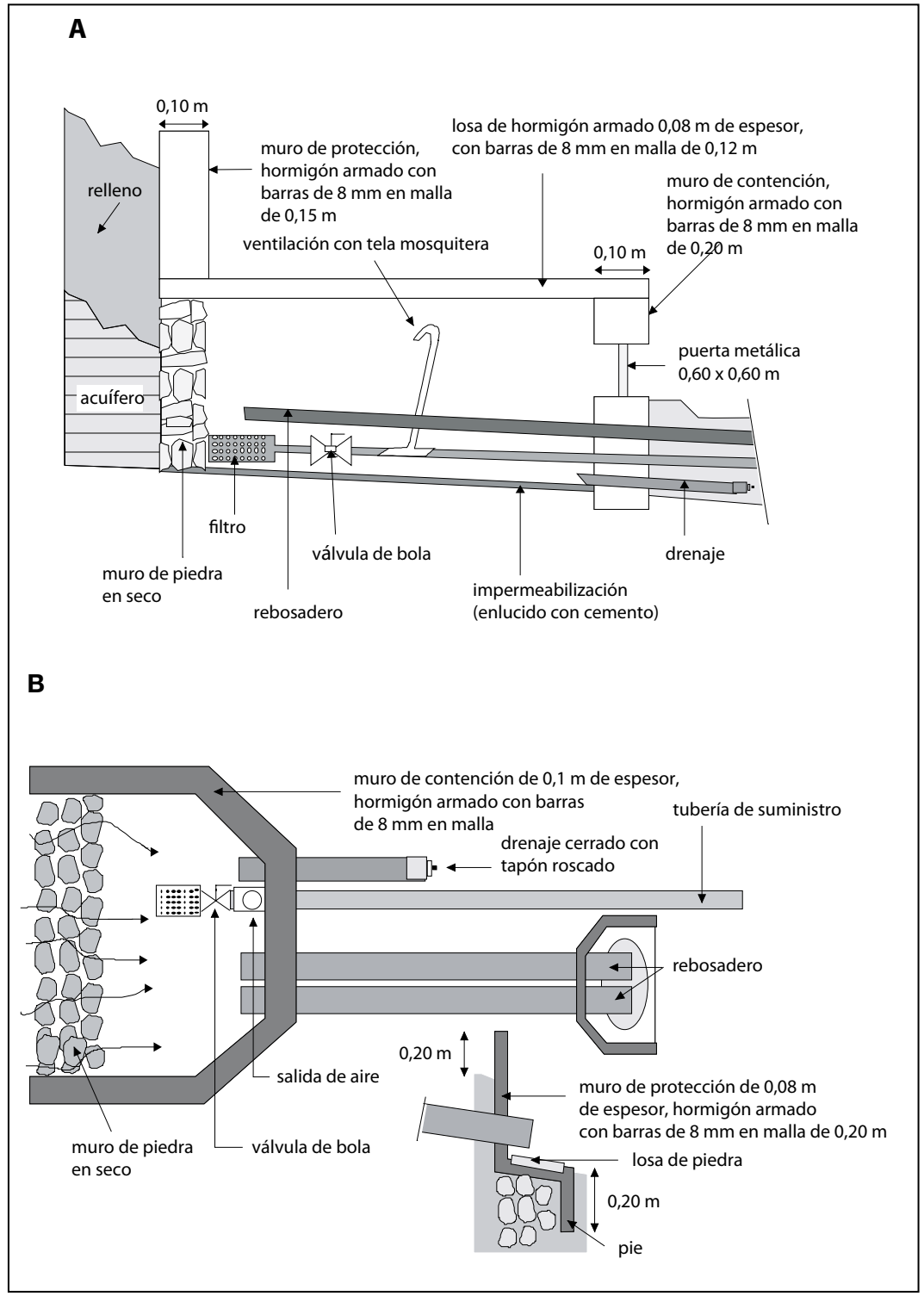


Figura 7.1: Cámara de captación en hormigón armado. A: sección; B: plano.

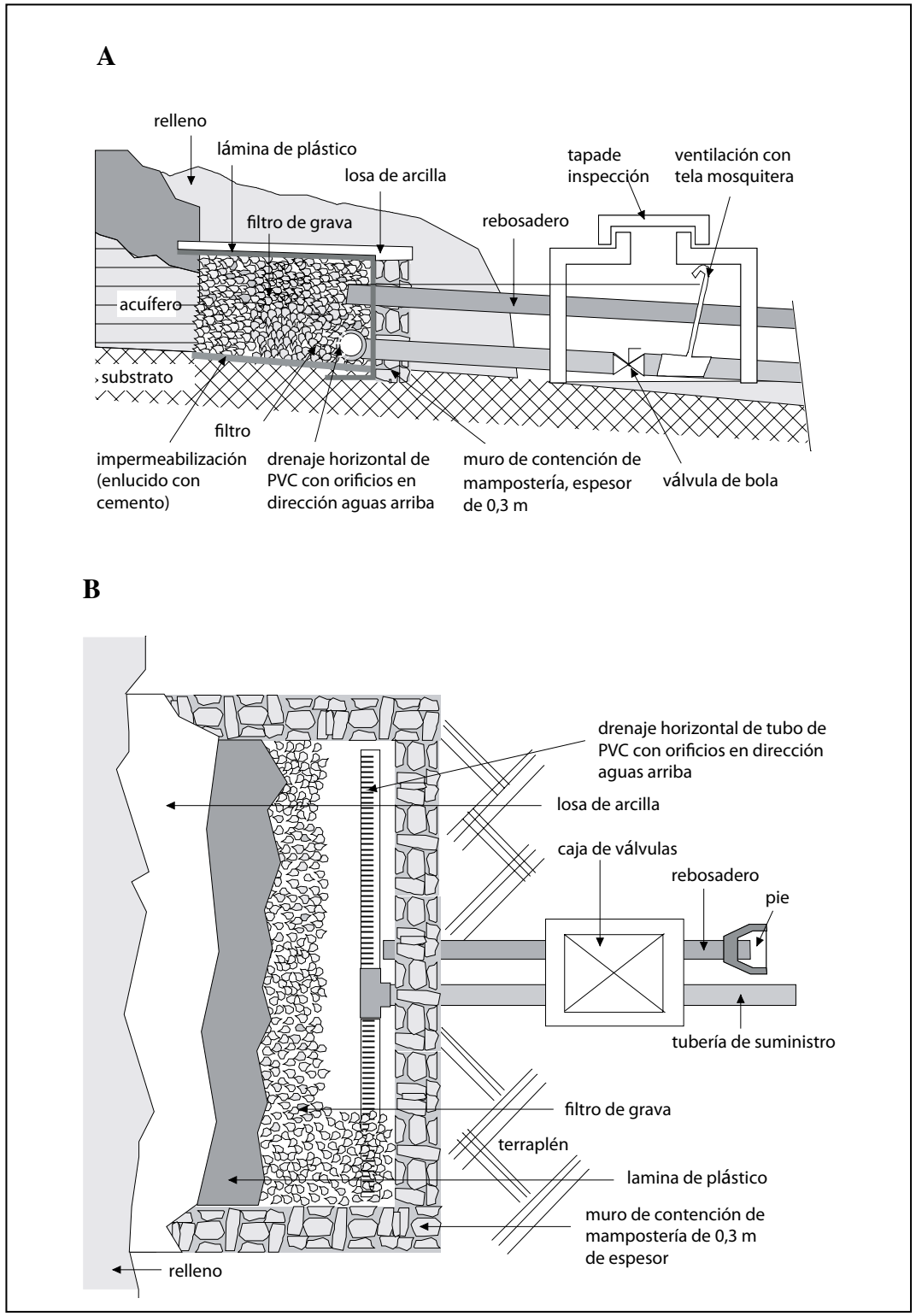


Figura 7.2: Captación por galería de infiltración. A: sección; B: plano.

de referencia (situada lo bastante lejos como para no interferir con la excavación) para marcar el nivel de descarga inicial. Esto funciona como una marca de referencia a la hora de la construcción: la salida y el rebosadero se sitúan por debajo de este nivel. No obstante, para evitar contra-presiones accidentales, es preciso instalar un rebosadero; en ausencia de información acerca del caudal máximo se debe sobredimensionar el rebosadero (dos o tres tuberías de 3").

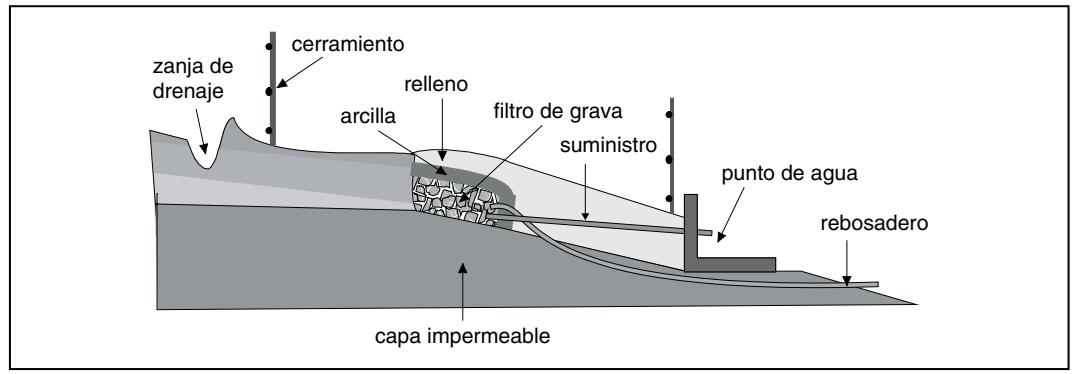


Figura 7.3: Galería de infiltración sellada con arcilla.

El muro de contención debe situarse sobre un terreno impermeable: la excavación debe llegar al substrato. Esto puede requerir en ocasiones una excavación considerable, pero es necesario para asegurar que el agua no pasa por debajo de la captación al cabo de unas semanas de uso. El concepto de substrato es a veces difícil de definir sobre el terreno: conviene retener la idea de que es una capa menos permeable sobre la que fluye el agua.

La captación debe protegerse: los trabajos de protección son parte de las obras de captación. Es necesario tener cuidado con el sellado, especialmente del recubrimiento de la galería filtrante (arcilla, plástico, chapa metálica, etc.), y de la construcción de la cámara de captación.

1.4 Equipamiento de los manantiales

Los manantiales han de ser equipados de tal modo que garanticen su protección y un uso fácil. La construcción de una zona de protección se describe en el Anexo 10. Hay varios modelos de puntos de agua para los manantiales (Figura 7.4): la elección se hace tras llegar a un acuerdo con los usuarios, teniendo en cuenta factores culturales. Es necesario estudiar el drenaje del lugar para evitar que el suelo se enfangue y se acumule agua estancada.

En el Anexo 14 se dan detalles de la construcción.

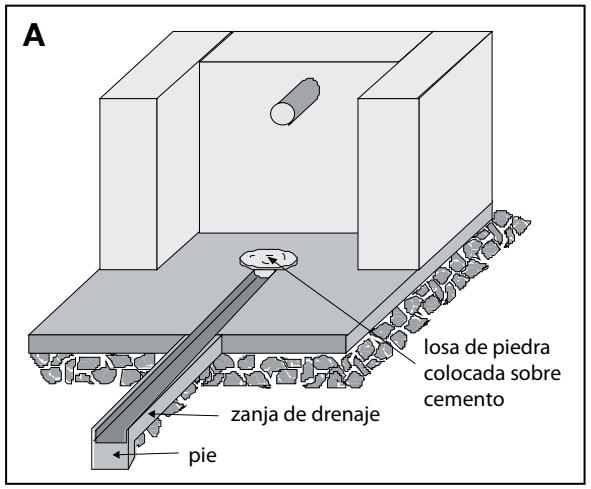
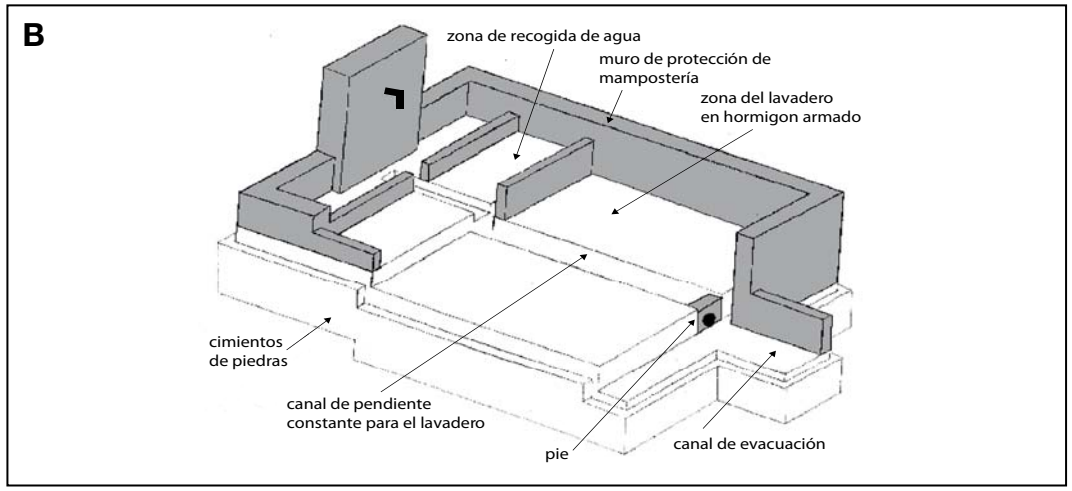


Figura 7.4: Ejemplos de puntos de agua. A: punto de agua simple (ACF, Burundi, 1995). B: punto de agua con lavadero (ACF, Etiopía, 1993).



1.5 Depósito de captación de un manantial

Cuando la demanda horaria máxima excede el caudal máximo horario del manantial, es preciso construir un depósito de almacenamiento. El principio consiste en almacenar agua durante los períodos de demanda baja, para poder suministrar un caudal mayor cuando la demanda aumenta. La diferencia entre la demanda y el caudal del manantial en función del momento del día se presenta en la Figura 7.5 (ejemplo de la red de distribución de Aloua, ver Capítulo XVII).

En base a la capacidad del manantial, se puede pensar en una distribución abierta (flujo continuo) o cerrado con grifos y un depósito:

– demanda horaria máxima (m^3/h) < caudal del manantial (m^3/h) → circuito abierto sin depósito;
– demanda horaria máxima (m^3/h) > caudal del manantial (m^3/h) → circuito cerrado con depósito.

El cálculo de la capacidad del depósito permite que el dimensionamiento sea económico, lo que tiene importancia en instalaciones de tamaño medio. En captaciones de escaso caudal, se puede estimar, en primera aproximación, que el volumen del depósito ha de ser equivalente al caudal nocturno total del manantial.

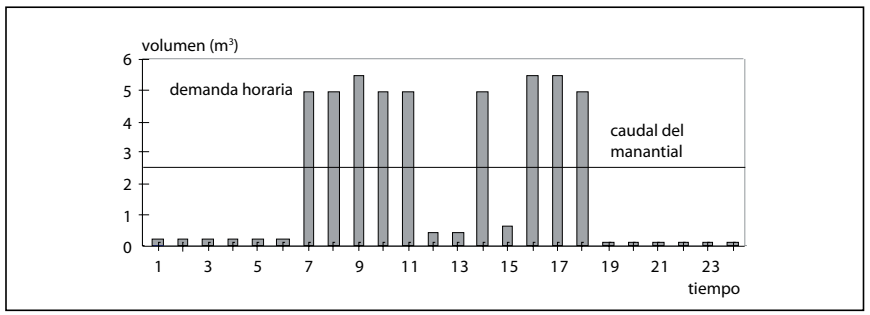


Figura 7.5: Demanda horaria frente al caudal de un manantial.

1.6 Depósito para una red de distribución por gravedad

Si el manantial debe suministrar una población relevante con una red de distribución por gravedad, conviene diseñar óptimamente el depósito.

El reparto de la demanda por tramos horarios se calcula usando un coeficiente de consumo para cada período (porcentaje del consumo total sobre 24 horas). La Tabla 7.II presenta la estimación realizada para la red de Aloua.

Tabla 7.II: Cálculo de la demanda por tramos horarios. Aloua (Etiopía), enero 1995: caudal del manantial: 2,52 m^3/h.; consumo diario 49,56 m^3/día.

Período (h)	Coeficiente de consumo (%)	Demanda durante el período (m^3)	Producción del manantial (m^3)	Remanente en el depósito (m^3)
0-6	2,5	1,24	15,12	13,88
6-7	10	4,96	2,52	11,44
7-8	10	4,96	2,52	9,00
8-9	11	5,45	2,52	6,07
9-10	10	4,96	2,52	3,63
10-11	10	4,96	2,52	1,19
11-13	1,75	0,87	5,04	5,36
13-14	10	4,96	2,52	2,92
14-15	1,25	0,62	2,52	4,82
15-16	11	5,45	2,52	1,89
16-17	11	5,45	2,52	– 1,04
17-18	10	4,96	2,52	– 3,48
18-21	0,75	0,37	7,56	3,71
21-24	0,75	0,37	7,56	10,90
0-24	**100%**	**49,56**	**máximo = 1,88**	**mínimo = – 3,48**

Excedente = caudal del manantial durante 24 h – demanda diaria Exc. = 10,92 m^3
Volumen depósito mín. económico: remanente máx. – remanente mín. V_{min} = 17,34 m^3
Volumen depósito para usar todo el caudal del manantial: (V_{min}+ Reb.) V_{dep} = 28,26 m^3

El volumen económico del depósito corresponde al volumen mínimo requerido para cubrir las necesidades horarias de la población.

Si se prevé captar una cantidad mayor del caudal del manantial, en previsión de un aumento de la población por ejemplo, se construirá un depósito mayor (volumen óptimo) En el ejemplo precedente, se escogerá el volumen económico de 17,34 m^3 y se recomendará la construcción de uno de 28 m^3.

El nivel del agua dentro del depósito, según el momento del día, se puede representar como una curva o en forma de tabla.

La Tabla 7.III y la Figura 7.6 corresponden al ejemplo precedente de la aldea de Aloua, suponiendo el depósito vacío a las 18:00 h y un volumen de 17,5 m^3.

Tabla 7.III: Cálculo del volumen de agua remanente en el depósito.

Período (h)	Coeficiente de consumo (%)	Demanda durante el período (m^3)	Producción del manantial (m^3)	Remanente en el depósito (m^3)
0-6	2,5	1,24	15,12	17,34
6-7	10	4,96	2,52	14,90
7-8	10	4,96	2,52	12,47
8-9	11	5,45	2,52	9,53
9-10	10	4,96	2,52	7,10
10-11	10	4,96	2,52	4,66
11-13	1,75	0,87	5,04	8,83
13-14	10	4,96	2,52	6,40
14-15	1,25	0,62	2,52	8,30
15-16	11	5,45	2,52	5,37
16-17	11	5,45	2,52	2,44
17-18	10	4,96	2,52	0,00
18-21	0,75	0,37	7,56	7,19
21-24	0,75	0,37	7,56	14,38
0-24	**100%**	**49,56**	**60,48**	**máx. = 17,34**

Se puede ver en la Figura 7.6 que la recarga del depósito se realiza básicamente a partir de las 18:00 h (se pueden ver dos pequeñas crestas de recarga durante el período de consumo entre las 11-12 h y 14-15 h) Si el depósito se hace de 17,5 m^3, el rebosadero empezará a verter agua a partir de las 1:40 h (unos 10,92 m^3 durante 4 h).

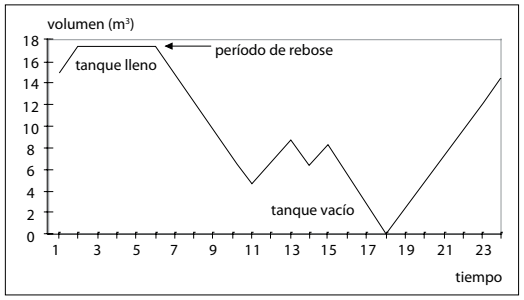


Figura 7.6: Visualización del volumen de agua dentro del depósito a lo largo de una jornada.

1.7 Depósitos para una red de distribución por bombeo

En el caso de suministro por bombeo, el volumen del depósito se calcula en función del caudal de la bomba y de la frecuencia del uso. En la práctica, se considera que un volumen equivalente al consumo diario es suficiente, lo que permite arrancar la bomba una sola vez por día. Cuando el bombeo se efectúa por paneles solares, la capacidad del recipiente debe ser cuanto menos el del volumen diario producido por el manantial.

En las emergencias, los depósitos usados son generalmente de tamaño fijo: 10, 20, 30, 45, 70 y 95 m^3; y el número de depósitos viene dado por las necesidades del tratamiento (ver Capítulo VI).

2 EJEMPLOS DE CAMPO

El ejemplo que sigue muestra la construcción de la captación de un manantial y la construcción de un punto de agua con una zona de lavadero integrada, que llevó a cabo ACF en Etiopía. El punto de agua se diseñó para el suministro continuo de agua (sin grifo), y se instaló al final de una línea de suministro (20 a 200 m). La zona de lavadero integrada, en forma de losa baja, se abastece por medio de un canal abierto.

2.1 Captación del manantial

La captación del manantial se muestra en la Fig. 7.7. Se alimenta por cuatro galerías de infiltración desde sendos cuatro manantiales, situados a menos de 20 m. Se requiere el agua de las cuatro fuentes dado su bajo caudal.

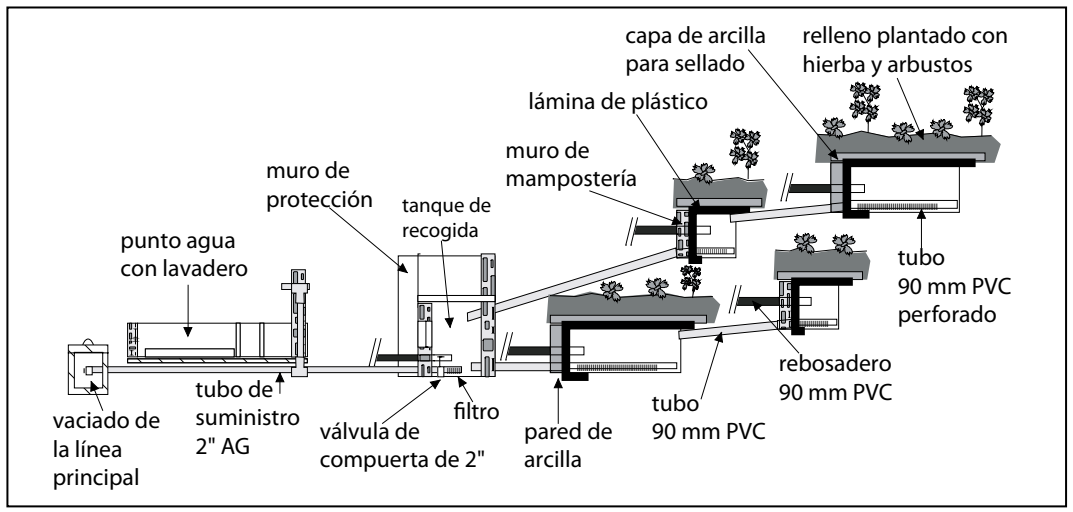


Figura 7.7: Captación del manantial.

Los materiales usados en el manantial de Ababuo se indican en la Tabla 7.IV.

Tabla 7.IV: Materiales y coste de una captación de manantial.

Lugar:	Ababuo	Número de beneficiarios:	605 (123 familias)
Kebele:	Sundusa		
Woreda:	Soro	Fecha de comienzo:	16/11/92
Área:	Hadya	Entrega a los beneficiarios:	17/08/93

MATERIALES Y EQUIPOS	Cantidad	Coste unitario (€)	Total (€)
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN			
cemento (50 kg)	37	7,50	277.50
arena (100 kg)	110	2,50	275,00
piedras (m^3)	35	5,00	175,00
refuerzo de 8-mm (barras de 12-m)	30	15,00	450,00
refuerzo de 6-mm (kg)	7,5	10,00	75,00
alambre (kg)	5	5,00	25,00
alambre espino (m)	200	0,45	90,00
madera para valla	1	150,00	150,00
clavos	8	6,00	48,00
puerta metálica	1	87,50	87,50
ACCESORIOS DE FONTANERÍA			
HIERRO GALVANIZADO DE 2”			
Te	2	17,50	35,00
Empalme	5	12,50	62,50
Reductor 2” / 1”1/2	2	12,50	25,00
Tapón	1	10,00	10,00
Unión	1	25,00	25,00
Válvula de compuerta	1	45,00	45,00
Tubo (6 m)	5	100,00	500,00
HIERRO GALVANIZADO DE 1 ½”			
Te	1	15,00	15,00
Codo	1	10,00	10,00
Tubo (1,40 m)	1	17,50	17,50
ACCESORIOS DE PVC			
Tubo de 90 mm (6 m)	49	50,00	2450,00
Tubo de 50 mm (6 m)	3	12,00	36,00
Total 1			**4.884,00**

MANO DE OBRA	Número	Días	Coste/día (€)	Total (€)
Capataz	1	28	10,50	294,00
Albañil	2	54	9,00	486,00
Auxiliar de albañil	4	54	6,00	324,00
Auxiliar de proyecto	1	52	9,50	494,00
Mecánico	1	28	9,00	252,00
Conductor	1	54	8,00	432,00
Cantero	1	43	6,25	268,75
Obrero	4	32	3,00	96,00
Total 2				**2646,75**
LOGÍSTICA				
Transporte				266,74
Almacenamiento				64,03
Total 3				**330,77**
COSTES ADMINISTRATIVOS				123,70
Total 4				**123,70**
TOTAL GENERAL				**7985,22**
Coste por beneficiario				13,19

CAPÍTULO VIII

Agua de lluvia. Estanques

1	**Pluviometría**	175	*3.2.2*	*Recomendaciones técnicas*	178
2	**Recogida de aguas de lluvia con tanques de captación (aljibes, depósitos de superficie)**	176	*3.2.3*	*Ejemplo de un diseño*	179
			3.2.4	*Recursos humanos y financieros*	181
2.1	Cálculo del volumen de un depósito	176	**4.**	**Estanques pastorales de recogida de agua, ejemplo de Etiopía**	181
3	**Recogida de aguas de lluvia con estanques**	177			
3.1	Clases de estanques	177	4.1	Almacenamiento para la captación de escorrentías	183
3.2	Estanques comunitarios tipo "impluvium": ejemplo en Birmania	178	**5**	**Ejemplo de sistemas para la recogida de agua**	183
			5.1	Pozo junto al estanque	184
3.2.1	*Estudio de viabilidad técnica*	178	5.2	Filtración	185

El aprovechamiento del agua de lluvia es una técnica antigua y muy extendida que resulta indicada tanto en climas lluviosos como en los secos, siendo especialmente útil en sitios con dos estaciones de lluvias. Con el mantenimiento adecuado de la superficie de recogida se puede obtener agua de calidad razonable en todas las latitudes y climatologías. Ya sea a nivel doméstico o en edificios comunitarios, o en obras de mayor envergadura, el aprovechamiento de la pendiente de los tejados, o de superficies construidas para el efecto, permiten la recogida de ciertas cantidades de agua que, en climas adecuados, pueden llegar a satisfacer buena parte de las necesidades individuales o colectivas, aunque ésta será siempre una técnica complementaria de otras fuentes de suministro. En muchos casos, se impone la recogida de aguas de lluvia como solución a largo plazo, al menos para suministro parcial, al no haber otras alternativas viables. Por ejemplo, en regiones montañosas sin aguas subterráneas accesibles, islas pequeñas, zonas de población dispersa (que hacen onerosos los equipamientos colectivos) o regiones semiáridas (hay que tener en cuenta que una pluviosidad anual media de 300 mm/m^2 supone 3 000 m^3 de agua por hectárea y año que se puede recoger.

Los materiales empleados para la construcción de los elementos que componen el sistema suelen encontrarse fácilmente en el terreno. El factor que controla los costos es el almacenamiento que, dependiendo de las dimensiones requeridas, puede llegar a ser limitante respecto a la cobertura de las necesidades.

Aunque la calidad del agua recogida depende de la limpieza de las superficies, conductos y almacenamientos (ver Capítulo V, Sección 1.4.1), puede obtenerse una calidad adecuada a la mayoría de los usos con el mantenimiento adecuado de los elementos citados.

Para la construcción de sistemas de captación hay que conocer las necesidades y disponer de datos de las precipitaciones de lluvia en el lugar del aprovechamiento.

1 PLUVIOMETRÍA

Con el fin de conocer la cantidad de agua que se puede recoger hay que tener datos estadísticos de las precipitaciones y para ello hay que hacer medidas, instalando una red de pluviómetros y tomar lecturas durante varios años. En muchas ocasiones, las cifras de estas precipitaciones están disponibles ya en las instituciones oficiales adecuadas.

Si no se dispone de datos, la cantidad de pluviómetros a instalar para medir la precipitación se determina en base al objetivo perseguido y a las condiciones ambientales. Dentro de la misma zona climática, las precipitaciones vienen afectadas por varios factores: altitud, exposición de las pendientes, distancia al mar, etc. En un área relativamente pequeña y homogénea, tal como un campo de refugiados, la instalación de uno o dos pluviómetros será suficiente. En un distrito, la red de pluviómetros debería ser mayor para incluir así todas las posibles peculiaridades ambientales.

La cantidad de medidas debe ser lo mayor posible; para tener una buena seguridad, se deben tener las medidas de varios años. Es conveniente, pues, instalar la red de pluviómetros cuanto antes, ya que algunos proyectos de suministro de agua durarán varios años, aunque no se haya contemplado la instalación de un suministro permanente al principio del programa. Para facilitar el registro de datos se puede instalar una estación automática que deja un registro escrito de los datos de precipitación y temperatura sobre un papel.

Por último hay que asignar la representatividad de un área geográfica determinada a cada estación. Se pueden usar varios métodos para ello (ver Anexo 6), pero los principales son:

- la media aritmética, el de menor precisión pero el más fácil;
- el método Thiesen (ponderando las superficies), válido en zonas planas;
- el método de igual precipitación, más preciso en terrenos desiguales.

2 RECOGIDA DE AGUAS DE LLUVIA CON TANQUES DE CAPTACION (ALJIBES, DEPOSITOS DE SUPERFICIE)

Cuando se aprovecha la superficie de los tejados de los edificios (ver Capítulo III, Sección 2.3.7), se suele almacenar el agua en aljibes construidos bajo el mismo edificio, o en depósitos de superficie prefabricados. En estos casos se diseña el volumen del almacenamiento de modo que sea superior a la diferencia entre el consumo mensual normal y la precipitación recogida en el mes más lluvioso, lo que puede evitar reboses, aunque sea siempre necesario construir rebosaderos.

A nivel doméstico, el almacenamiento puede hacer onerosa la instalación si el volumen es grande, a pesar de que muchos de los materiales necesarios puedan encontrarse localmente a precios asequibles.

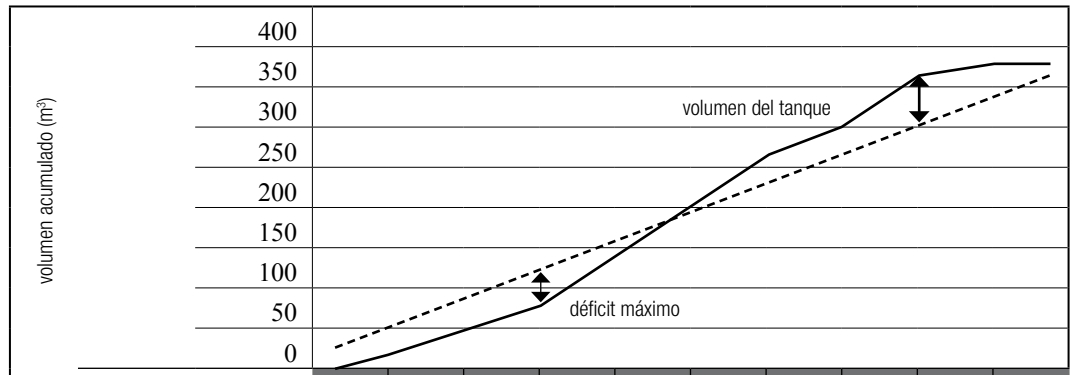
2.1 Cálculo del volumen de un depósito

Tabla 8.I. Volumen del aljibe familiar para la recuperación de agua de lluvia.

Precipitación media anual (mm)	Área del Techo (m^2)	Volumen tanque m^3	Agua disponible (l/día)	Fiabilidad del tanque (% anual cubierto)
1 800 – sin la estación seca (Yakarta)	30	3,6	30	99
800 – 2 estaciones de lluvia (Ghana)	30	7,5	66	–
635 – 1 estación seca de 6 meses (Swazilandia)	30	5	37	–
1 500 – 5 meses de sequía (Indonesia)	30	5,1	30	99
1 300 – 4 meses de sequía (Tailandia)	30	5,8	45	95
1 200 – sin la estación seca (Australia)	30	11,8	74	80
390 – estación de lluvias indefinida (Australia)	30	10,5	25	80

Los tanques de captación de agua de lluvia a nivel doméstico o para uso de algún centro colectivo (escuela, centro sanitario, etc.) se dimensionan generalmente comparando las necesidades y los volúmenes mensuales acumulados a lo largo de un año. Tomando el ejemplo de una escuela al norte de Uganda, en la que la superficie de la cubierta es de 550 m^2, con una relación precipitación de agua / agua recogida del 80%, (chapa ondulada, referirse al Capítulo IV) y los datos de pluviosidad mensuales disponibles. El consumo diario se cifra en 1 000 litros (100 alumnos por 10 litros/día). La

Figura 8.1 compara el consumo y los volúmenes de agua recuperables, acumulados a lo largo del año. El volumen del tanque se puede definir gráficamente como la diferencia entre el excedente mensual máximo y las necesidades acumuladas en este período, es decir 60 m^3 (mes de octubre). Como este volumen es ligeramente superior al déficit máximo del mes de marzo, estimado en 54 m^3, las necesidades deberían estar debidamente cubiertas durante todo el año. En ausencia de datos pluviométricos precisos, Pacey y Cullis (1986) proponen las cifras presentadas en la Tabla 8.I.



Volumen acumulado de agua recuperable	ene	feb	mar	may	jun	jul	ago	sep	oct	dic
	5,3	10,6	36,9	121	169	208	263	294	360	374
Demanda acumulada	30	60	90	150	180	210	240	270	300	360

Figura 8.1. Dimensionamiento de un depósito para agua de lluvia en una escuela (ACF Uganda, 1996).

3 RECOGIDA DE AGUAS DE LLUVIA CON ESTANQUES

Las fuentes superficiales de agua, tales como los estanques, son muy sensibles a la contaminación superficial, especialmente a la contaminación bacteriológica. Sin embargo, no se deben descartar como fuente de agua potable; generalmente hay gran demanda de agua superficial en contextos en los que no hay otra fuente de agua (p.ej. donde es difícil explotar aguas subterráneas, debido a la profundidad o a la salinidad elevada) y en contextos donde no se espera un mantenimiento adecuado (p.ej. en caminos de tránsito en algunas zonas de pastoreo).

3.1 Clases de estanques

Hay dos clases de estanques: charcas tipo "impluvium" y charcas de drenaje. Los "impluvium" se usan en sitios de elevada pluviosidad (áreas tropicales húmedas, p.ej. Sudeste de Asia). Estos estanques carecen de cuenca de recepción; recogen el agua que llueve directamente sobre la superficie. La calidad depende de las condiciones sanitarias del estanque (limpieza, presencia de animales, etc.). En este caso, el diseño y la construcción adecuados (incluyendo la instalación estructuras adecuadas para la extracción de agua) y la gestión apropiada del punto de agua, pueden dar como resultado un agua de calidad satisfactoria, que se puede usar para aplicaciones domésticas y para beber.

Cuando la precipitación es baja, en tierras áridas o semiáridas (ASAL) como en el Sahel, el Cuerno de Africa, el Kalahari, etc., los estanques se sitúan en zonas bajas y recogen escorrentías de superficies construidas a tal efecto. Puesto que hay toda clase de posibilidades de contaminación durante el curso de la escorrentía, la calidad del agua es baja. Por otra parte, estos estanques se usan primordialmente en áreas pobladas por comunidades pastorales y se destinan principalmente al abrevamiento de animales. Esto aumenta también los riesgos de contaminación. En estas zonas pastorales, los estanques pueden ser usados por diferentes clanes o comunidades, que están aislados generalmente de asentamientos fijos. La gestión del suministro de agua no se puede hacer, por tanto, de forma regular y cualquier instalación compleja solo se debe considerar tras un análisis de las limitaciones de la operación y del mantenimiento.

En cualquier caso, el riesgo de contaminación sigue siendo elevado y la mejor manera de garantizar un acceso seguro al agua potable consiste en tratarla antes de consumirla (hirviéndola, filtrándola, etc.).

La gente sabe generalmente como construir o rehabilitar estanques o depósitos de recogida de agua de lluvia, pero para optimizarlos y asegurar un servicio prolongado, se deben observar algunas reglas y parámetros constructivos.

3.2 Estanques comunitarios tipo “impluvium”: ejemplo en Birmania

3.2.1 ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA

El estudio de viabilidad trata básicamente de la naturaleza del subsuelo, que debe ser impermeable (ensayos y observación sobre el terreno, perforaciones de prueba), y de la pluviosidad y evaporación, para dimensionar el estanque en base a la demanda.

La disponibilidad de terreno para estos estanques está limitada en ocasiones cuando hay necesidad para otros usos (agricultura, problemas de propiedad, etc.).

3.2.2 RECOMENDACIONES TÉCNICAS

El trabajo incluye varios elementos como los que se indican en la Figura 8.2. El estanque en sí mismo no es más que una excavación realizada en un terreno impermeable. Las paredes que lo rodean se construyen con el material excavado, protegen al estanque de las escorrentías y limitan el acceso. Los rebosaderos permiten evacuar el exceso de agua de lluvia asegurando así la viabilidad de la estructura. El suelo y el canal de drenaje protegen al estanque de la escorrentía desde los bordes. La valla y la zona de recogida del agua, situada sobre un muelle flotante, ayudan en la protección del agua contra la contaminación. El muelle permite que la gente recoja agua a cierta distancia de la orilla, donde el agua es más clara y limpia.

Todas las pendientes (paredes, excavaciones) son del 66% (relación 2:3 para la altura/anchura). Así, la superficie de la lámina del agua es mucho mayor que la superficie del estanque, ver Figura 8.2A.

Antes de comenzar la excavación, se señalan en el suelo las partes de la estructura (paredes, rebosaderos, vallas de protección), y se indican los niveles de excavación.

La estabilización de las paredes se hace a medida que avanza la excavación, añadiendo capas sucesivas manualmente con un compactador. El suelo se humedece ligeramente para asegurar la compactación; una compactación inadecuada puede causar el fallo de la estructura en las primeras lluvias.

Cuando se construyen grandes depósitos, la compactación adecuada del suelo se verifica con un “penetrómetro” dinámico manual (un instrumento que mide la profundidad de penetración de una aguja estándar o un cono en la capa considerada bajo condiciones normales de carga y tiempo).

A medida que adelanta la excavación, se van tomando muestras cada 50 cm para verificar que el suelo aún contiene suficiente arcilla, y se corresponde con los resultados del estudio de viabilidad, basado en una sección geológica específica de los primeros metros más la prueba de permeabilidad. En ausencia de un subsuelo impermeable, siempre es posible compactar arcilla depositada sobre el fondo del estanque (0,5 m) o instalar membranas impermeables, que son más caras y difíciles de instalar.

Las paredes se recubren con tierra y se planta hierba para evitar la erosión: se deben usar especies perennes, que recubren el suelo y de raíces poco profundas. Los arbustos y plantas no son adecuados por que sus raíces propician la filtración del agua.

Un rebosadero suficientemente grande y efectivo se sitúa en el lado apropiado (al menos 1 m por debajo de la parte superior de las paredes). La parte baja del tubo, por donde fluye el agua, se rellena con piedras cementadas en los primeros metros.

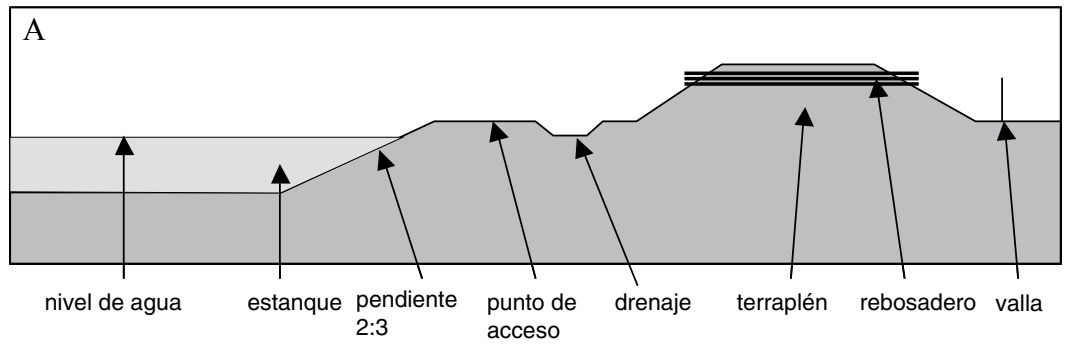


Figura 8.2: Estanque comunitario (ACF, Myanmar, 1996). A: Plano de construcción. B: Sistema de recogida de agua.

Finalmente, para mejorar la calidad del agua potable, se necesita tomar algunas medidas muy simples, tales como la construcción de una valla de protección con madera, cañas, o, incluso mejor, plantas de crecimiento rápido para evitar el acceso de animales.

El agua se recoge generalmente usando un cubo o una jarra, que tiene la ventaja de ser bastante rápido. Para evitar que se recoja agua desde el borde del estanque, se deben construir muelles de acceso (fijos o flotantes), cosa fácil de hacer. Hay sistemas que permiten la protección adecuada, concretamente la instalación de una bomba manual en un pozo alimentado con un drenaje desde el estanque (ver Sección 5), o directamente en el estanque mismo: el uso adecuado de este sistema depende mucho de las costumbres locales.

3.2.3 EJEMPLO DE UN DISEÑO

El ejemplo se refiere a una aldea en la región de Mangdaw de Birmania que tiene 500 habitantes. Se perforaron dos pozos que resultaron ser negativos (agua salobre) y los vecinos pidieron ayuda a ACF para mejorar su estanque de recogida de agua de lluvia, una forma tradicional de suministrarse agua en la región.

Para calcular el volumen del estanque, se pueden usar datos medios mensuales de pluviosidad y evaporación y luego comparar la demanda acumulada con el volumen anual de lluvia recuperable. Como no había datos mensuales de la región disponibles, se usaron datos anuales. El promedio anual de precipitaciones fue de 4 000 mm/m^2 y el promedio anual de temperatura de 25ºC (ver Anexo 6). La evaporación de la lámina de agua no se pudo calcular exactamente, por que no se habían hecho medidas directas (p.ej. en un tanque de evaporación, o con un medidor de evaporación) y las fórmulas corrientes (fórmula de Lugeon, de Meyer, balance calorífico, etc.) son difíciles de usar a causa del uso de un número elevado de parámetros. El uso de las fórmulas simples de Turc y Coutagne dadas en el Anexo 6 está restringido al cálculo de la pérdida de caudal en una cuenca de recepción. Por tanto y estrictamente hablando, no deberían usarse para calcular las pérdidas por evaporación de una masa de agua. A modo de indicación, la fórmula de Coutagne da una "evapotranspiración" anual real (RET) de 1,1 m/m^2, mientras que la de Turc da 1,6 m/m^2, estimaciones aproximadas de la evaporación promedio anual desde una lámina de agua que se pueden encontrar en las publicaciones (Réméniéras) indican valores de 1,5 a 3 m/m^2 para las zonas húmedas tropicales. Se tomó por tanto el valor 1,5 m/m^2.

La cantidad útil de agua disponible para alimentar el estanque es por tanto:

4 – 1,5 = 2,5 m/año (o 2,5 m^3 por m^2 de área superficial).

La demanda de agua de la población se estima en 30 l/persona/día a lo largo de un período de 7 meses del año. En la práctica, los vecinos recogen el agua de sus techos en jarras durante la estación de las lluvias (5 meses). Aunque la lluvia se detenga unos pocos días, la gente irá al estanque sin que se altere la reserva de agua dado que cualquier agua que se tome será repuesta en el curso de pocos días de lluvia.

Por tanto, la demanda total en un año será:

0,03 x 500 x 365 x 7/12 = 3 200 m^3

para cubrir esta demanda, el área mínima del estanque se puede calcular considerando la pluviosidad útil por metro cuadrado:

3 200/2,5 = 1 280 m^2

Los estanques tienen forma trapezoidal (ver Figura 8.2) y su volumen se calcula con la fórmula siguiente:

$$V = (l-h/p)(w-h/p)h \quad (1)$$

donde V = volumen del estanque, m^3; l = longitud del estanque, m; w = anchura del estanque, m; h = altura de agua, m; p = pendiente de la orilla (vertical/horizontal), adimensional.

El estanque tiene 40 m de longitud (l), 25 m de anchura (w) y 1,3 m de profundidad de agua (h). De acuerdo con la naturaleza del suelo, las orillas tienen una pendiente de 2/3.

La superficie del estanque es de 40x25 = 1 000 m^2 y su volumen de 1 140 m^3 (ver fórmula (1)), que es claramente insuficiente para la población y justifica un aumento del tamaño.

Como la superficie es inferior al mínimo de 1 280 m^2 requerido, se debe aumentar para recoger el volumen necesario de agua de lluvia. Para maximizar el aumento de volumen respecto al incremento de superficie, se debe incrementar la anchura en vez de la longitud. Por tanto, el volumen máximo del estanque correspondiente a un área superficial de 1 280 m^2 se obtiene con L = 40 y W = 32.

Para aumentar el volumen del estanque, la mejor solución es aumentar la profundidad, lo que limita las pérdidas por evaporación (que son proporcionales al área) y también por problemas de disponibilidad de terreno. Excavando el suelo se vio que hay una capa de arcilla hasta 3,3 m de profundidad, por lo que la profundidad se estableció en 3 m para dejar 30 cm de arena sobre la capa permeable.

El volumen calculado con la fórmula (1) es entonces:

V = [40 - (3/2 x3)] x [32 – (3/2 x 3)] x 3 = 2 930 m^3

Si el volumen es inferior al volumen esperado, habría que aumentar el área. Aumentando la anchura hasta 35 m, V se convierte en 3 250 m^3, que se corresponde con las necesidades calculadas. El estanque tendrá 40 m de longitud, 35 m de anchura y 3 m de profundidad. Se instalan rebosaderos para drenar el exceso de agua de lluvia en caso de que el estanque se haya infradimensionado, lo que es posible dado que se han usado varias estimaciones en el diseño.

3.2.4 RECURSOS HUMANOS Y FINANCIEROS

Generalmente, la construcción de estanques en las aldeas es bastante laboriosa, pero la mano de obra está disponible gracias a la participación voluntaria o remunerándola con alimentos o dinero. Un análisis sobre la seguridad alimentaria (especialmente disponibilidad y accesibilidad de alimentos) debería determinar la forma más adecuada de participación. Para realizar la excavación y compactación, la gente se organiza en grupos de 9, cada grupo tiene un capataz. La asistencia se registra diariamente y el pago está basado en el volumen de tierra extraído, también se tiene en cuenta el número de jornadas trabajadas, teniendo en cuenta que algunas capas son más duras de excavar. Este sistema se adapta bien a las costumbres y cultura locales, teniendo en cuenta que no hay fraude en estas comunidades (Tabla 8.II).

Tabla 8.II: Ejemplo de costes para un estanque excavado manualmente (ACF, Birmania, 2003).

Volumen de excavación	2 950 – 1 150 = 1 800 m^3
Número de persona-día para excavar el estanque	1 470
Número de personas disponibles	70
Número de jornadas de trabajo	21
Coste de la excavación (por m^3)	0,7
Coste de la mano de obra	0,7 x 1 800 = 1 260
Coste de los muelles	200
Coste total	**1 460** € **(*)**

(*): El coste se modifica según el número de jornadas

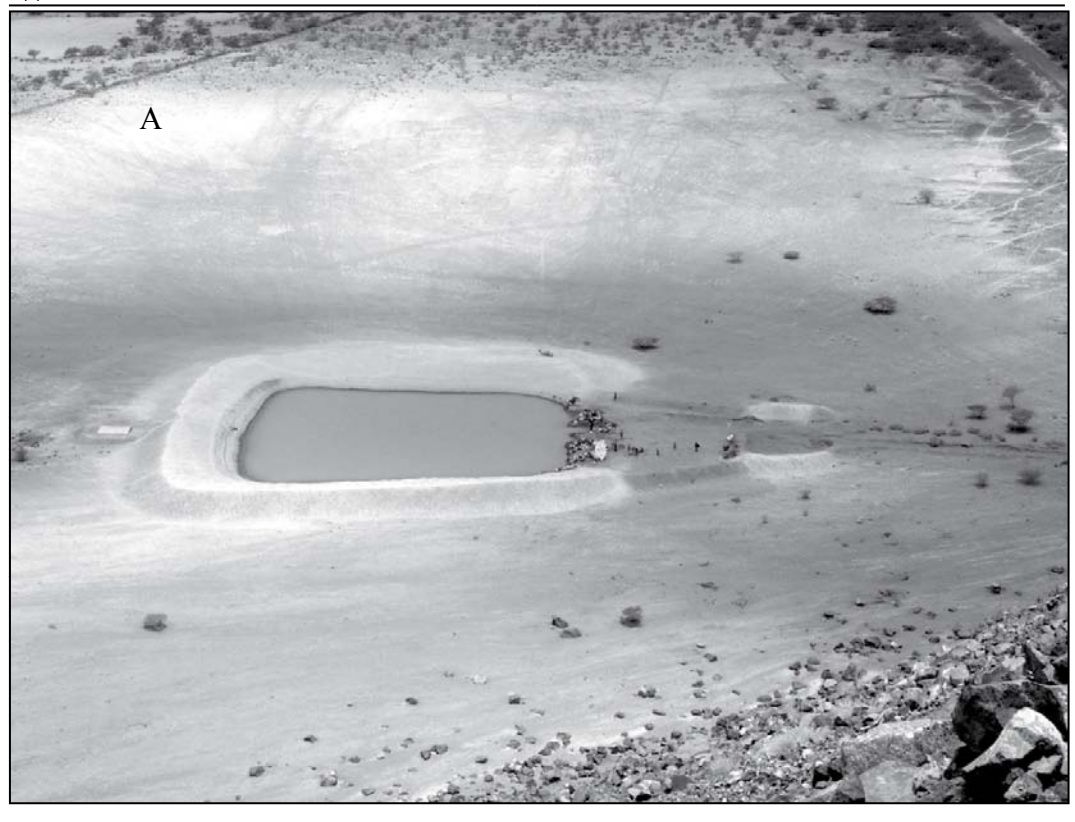


Figura 8.3: Estanque para la recogida de escorrentías en Etiopía. A: Vista aérea de un estanque pastoral. B: Birkad.

Las Figuras 8.4 A y B muestran los planos de un estanque a construir por ACF en 2004. ACF introdujo algunas mejoras al modelo simple tradicional para aumentar la durabilidad, reduciendo la erosión y sedimentación, y limitando la contaminación del agua. Las diferencias principales respecto al modelo de "impluvium" son el canal de entrada y la ausencia de un drenaje y rebosadero. El área de la escorrentía se puede mejorar con las barreras adecuadas para aumentar la recogida de la escorrentía de agua.

El estanque se llena con los aguaceros que arrastran gran cantidad de sedimentos que disminuyen con rapidez la capacidad de almacenamiento útil del estanque. Para reducir este problema, se construye una trampa de sedimentos o balsa de decantación para que pase por ella el agua antes de llegar al estanque, lo que elimina la mayor parte de los sedimentos arrastrados. Las dimensiones de la balsa de decantación se deben escoger para que retenga los sedimentos de un año. Estas dimensiones se deciden conforme a la experiencia local y a la observación, y dependen principalmente de la velocidad del agua que llega al estanque y de la naturaleza del suelo. Las balsas de decantación deben tener un mantenimiento regular (vaciándolas y consolidándolas), actividades que pueden ser difíciles de ejecutar si no hay una comunidad viviendo en las inmediaciones del estanque lo que ocurre con mucha frecuencia en las zonas de pastoreo. Si no se realiza el mantenimiento debido, las balsas de decantación pronto se vuelven inservibles.

La erosión es también un factor que reduce la durabilidad. Causa la destrucción del estanque y llena las orillas de la charca de barros, con el consiguiente costo adicional para la sobre-excavación debido al colmatamiento. Para resolver este problema, ACF Etiopía decidió colocar gaviones (cestos de mallas metálicas rellenados con piedras) en la charca de barros y a la entrada del canal, como se indica en la Figura 8.4A. La erosión puede deberse a los animales también, cuando acceden al estanque para abrevar. La instalación de una valla alrededor del estanque, junto con el sistema adecuado para abrevar animales, permite una reducción de la erosión y de la sedimentación, protegiendo, al mismo tiempo, el agua de la contaminación.

Nota: cuando se construye un estanque pastoral en una zona de pastoreo durante la estación de lluvias (p.ej. un área donde se pastorea sólo durante y justo después de la estación de lluvias, y no hay asentamiento alguno), el estanque se debe diseñar para que no dure demasiado durante la estación seca. Si el agua dura demasiado tiempo durante la estación seca, hay el peligro de que la gente cambie las costumbres con los siguientes efectos negativos potenciales:

– la gente puede verse atrapada en la zona de pastoreo de la estación húmeda sin la posibilidad de llegar a las zonas de pastoreo de la estación seca con seguridad (no hay agua en las rutas de trashumancia);

– la gente crea nuevas zonas de asentamiento (no es siempre negativo, pero se deben estudiar cuidadosamente las consecuencias);

– se induce a la sobreexplotación de los pastos, reduciendo el tiempo necesario para la regeneración de los pastos que conduce a la destrucción de las reservas del pastoreo.

4.1 Almacenamiento para la captación de escorrentías

En casos de usos comunitarios, el volumen de los depósitos (*birkads* y estanques) puede estimarse con los procedimientos usados para el diseño de depósitos familiares. De todas formas, es preferible trabajar con datos pluviométricos de 10 en 10 días en lugar de los mensuales, con el fin de optimizar el dimensionamiento. En el caso de un estanque abierto, es preciso tener en cuenta las pérdidas por evaporación además de las de filtración. La experiencia enseña, sin embargo, que los volúmenes calculados de esta manera son generalmente difíciles de poner en práctica: las restricciones del terreno obligan a limitar la superficie deseada.

5 EJEMPLOS DE SISTEMAS PARA LA RECOGIDA DE AGUA

La Figura 8.4B muestra un sistema de bomba de pedal que se puede instalar al borde de un estanque para bombear agua a los abrevaderos construidos en las proximidades. Estas bombas son robustas y de fácil mantenimiento, bombeando grandes cantidades de agua con poco esfuerzo. El único inconveniente es que deben cebarse con agua. La experiencia enseña que este tipo de sistemas presentan a menudo problemas de mantenimiento. Si este sistema de bombeo se considera demasiado complicado para las capacidades locales, una solución simple y eficiente para limitar la erosión y contaminación del agua consiste en la delimitación y vallado de un acceso directo para el abrevamiento de animales a una esquina del estanque, o construyendo un depósito conectado directamente con el estanque por un canal.

Generalmente es difícil asegurar la potabilidad del agua con estos estanques. Sólo con sistemas de filtración más o menos complicados, como los indicados en la Sección 4, se puede mejorar la calidad del agua. Lógicamente estos sistemas necesitan un buen mantenimiento y no se pueden mantener operativos en zonas remotas.

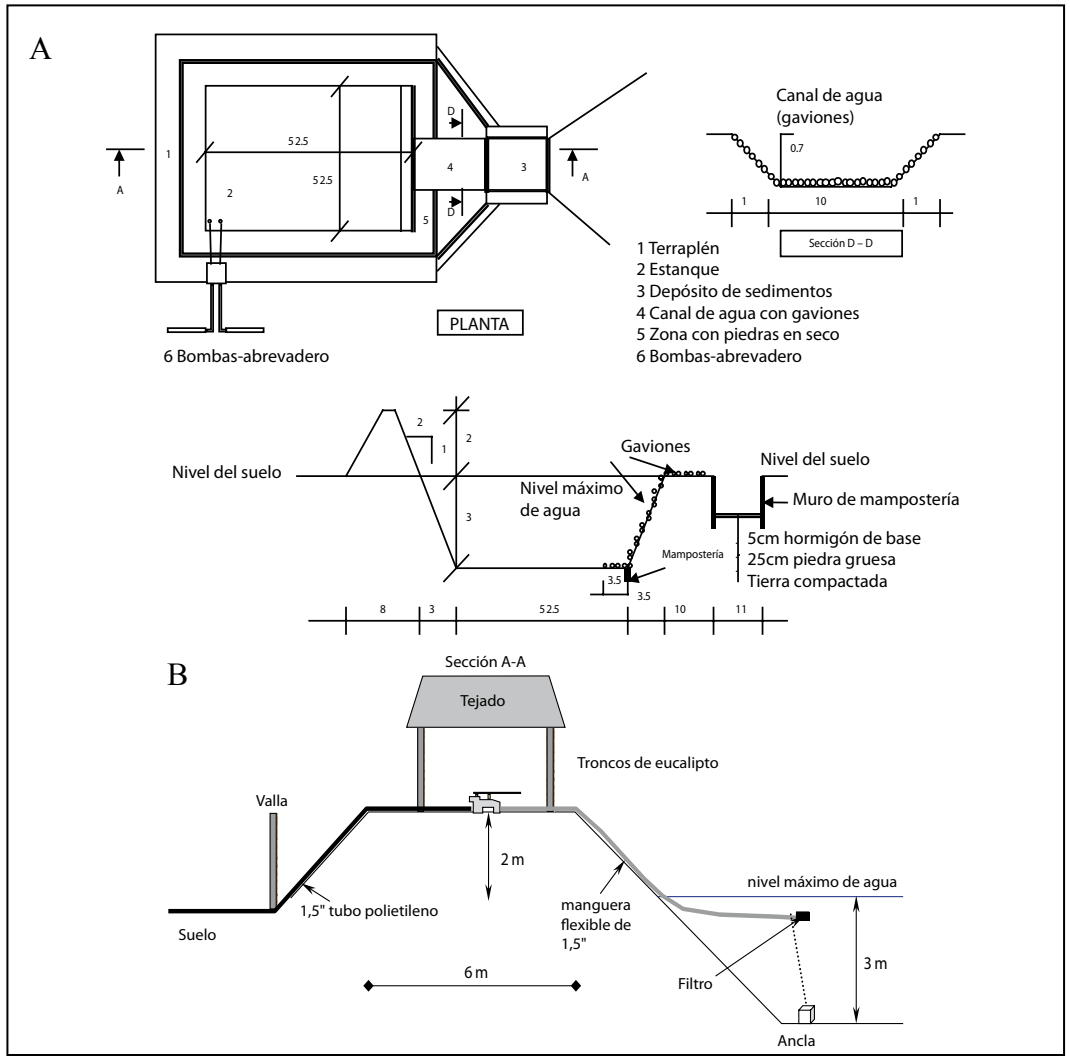


Figura 8.4: Estanque pastoral (ACF Etiopía, 2004). A: Planos. B: Sistema de recogida de agua.

5.1 Pozo junto al estanque

Cuando el agua se usa para beber, el estanque se debe proteger de cualquier contaminación externa. Una solución consiste en la construcción de un pozo conectado al estanque y equipado con una bomba manual, como se indica en la Figura 8.5.

Este sistema puede garantizar un acceso al agua de calidad aceptable sólo en los casos de estanques "impluvium" protegidos con una valla, para limitar cualquier riesgo de contaminación externa. Como el pozo funciona como un tanque de almacenamiento de agua, el sistema permanece seguro sólo si se recoge agua de forma regular, p.ej. a lo largo de todo el año, de otro modo el agua se estanca y favorece el desarrollo de bacterias. Se debe instalar un filtro a la entrada de agua al estanque para evitar la obstrucción de la tubería. Este es punto débil del sistema y se debe prestar atención especial para evitar las obstrucciones. Otra solución consiste en conectar el pozo con el estanque por medio de una zanja filtrante. Esto permite la filtración efectiva del agua, pero el riesgo de obstrucción es mayor.

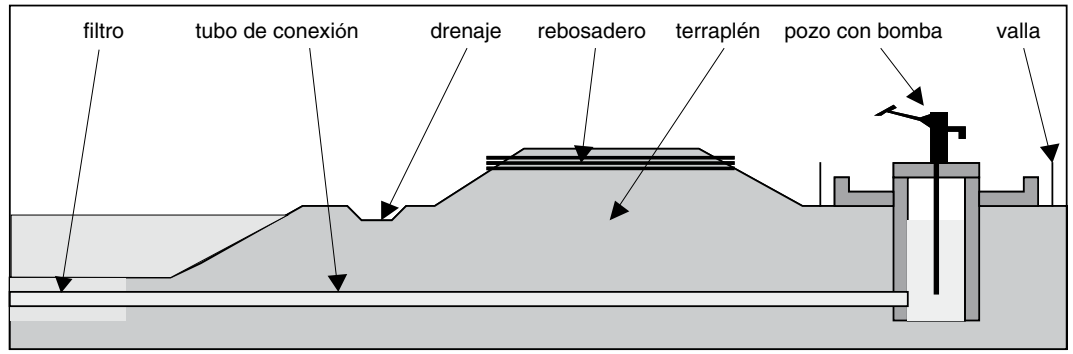


Figura 8.5: Pozo conectado al estanque.

5.2 Filtración

Otra opción, cuando el agua va a usarse para beber, consiste en filtrar el agua antes de suministrarse a los grifos (ver Figura 8.6). Para más información sobre filtros de arena ver Capítulo VI, Sección 2.5.

Se pueden usar generalmente dos clases de bombas: bombas aspirantes o bombas rotativas helicoidales (ver Capítulo XVII, Sección 8.4). La aspiración puede ser fija o dotada de un sistema flotante para seguir el nivel de agua y bombear solo el agua próxima a la superficie, y aprovechar así el efecto desinfectante de los rayos ultravioleta del sol.

Este sistema es particularmente eficiente en los estanques "impluvium" pero puede también usarse en los estanques de recogida de escorrentías. En cualquier caso, esta solución requiere una gestión importante por parte de la comunidad para mantener, limpiar y operar la bomba, el filtro y la fuente con los grifos.

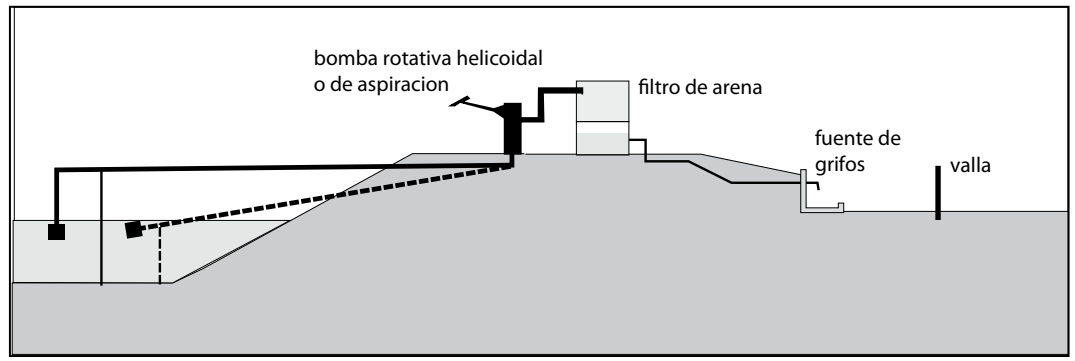


Figura 8.6: Sistema de filtración.

CAPÍTULO IX

Aguas superficiales

1	**Estimacion de la escorrentía**	187	*1.1.3*	*Medida con un vertedero*	189
1.1	Medida del caudal de agua	187	*1.1.4*	*Método de la sal diluida (nube de sal)*	191
1.1.1	*Cronómetro y recipiente*	188	*1.1.5*	*Molinetes hidrométricos*	193
1.1.2	*Cronómetro y flotador*	188			

1 ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA

La escorrentía es la fracción del agua de lluvia que no se infiltra ni vuelve a la atmósfera por evapotranspiración y por tanto para su cálculo es necesario conocer los diferentes términos del equilibrio. De todos modos, se puede hacer una rápida estimación, como se muestra en la Tabla 9.I, donde se establecen los órdenes de magnitud de la escorrentía sobre un suelo natural en función del promedio de datos anuales. Hay que tener en cuenta que estas cifras no tienen en cuenta la pendiente del terreno ni la intensidad de las precipitaciones. Es preciso, por tanto, usar las cifras con precaución, favoreciendo los resultados del método para el cálculo del equilibrio, o incluso mejor, la observación directa de los sistemas que ya están en uso.

Tabla 9.I: Estimación de la escorrentía.

Precipitación (mm)	Evapotranspiración potencial (mm)	Escorrentía (% de la precipitación) terreno bastante impermeable	Escorrentía (% de la precipitación) terreno muy permeable
> 1 100	-	16,5	6,5
900 a 1 100	-	13	6,5
500 a 900	< 1 300	10	5
500 a 900	1 300 a 1 800	10	3
400 a 500	1 300 a 1 800	8	1,5
250 a 400	< 1 800	5	0
250 a 400	> 1 800	3	0

Una cuenca de recepción de 100 hectáreas (10^6 m^2) hecha de un suelo compactado bastante impermeable, en un clima con una precipitación media anual de 750 mm y una evapotranspiración potencial de 1 000 mm (para el cálculo de la evapotranspiración potencial ver el Anexo 6) puede producir sobre 10^6 x 750 x 10% = 75 000 m^3 de agua de escorrentía.

1.1 Medida del Caudal de Agua

Se usan varios métodos para el cálculo del caudal de las corrientes de agua. La técnica escogida dependerá de las condiciones del flujo y del orden de magnitud de los caudales a medir (Tabla 9.II).

Tabla 9.II: Técnicas de medida de caudal.

Medida directa del caudal (recipiente y cronómetro)	Caudales < 35 l/s
Medida de la velocidad de la corriente (flotador y cronómetro) o medida de la corriente	Flujo laminar
Medida de la altura del agua (presa sobre el rebosadero)	Flujo laminar
Método de la sal diluida (dilución de sal)	Flujo turbulento 100 l/s < caudal<3 m^3/s

1.1.1 CRONÓMETRO Y RECIPIENTE

Para mayor precisión, la duración de la recogida en el recipiente debe ser de entre 30 y 60 segundos (Figura 9.1). El recipiente se calibra y su capacidad se escoge en función del caudal (Tabla 9.III). Se recomienda hacer varias medidas y tomar la media.

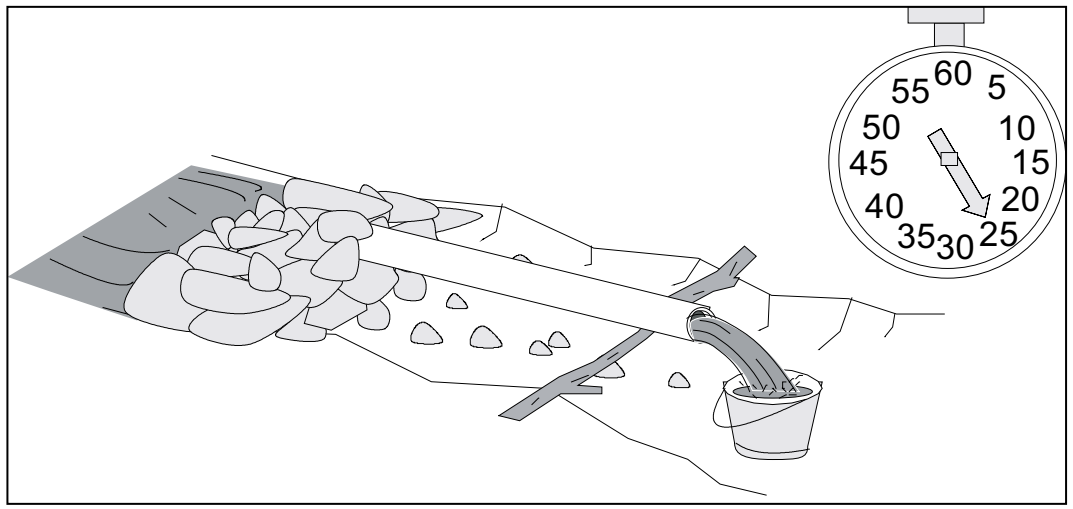


Figura 9.1: Medida directa del caudal.

Tabla 9.III: Volumen del recipiente en función del caudal.

Caudal, Q (m^3/h)	Volumen del recipiente calibrado (l)
Q <3,6	20
3,6 < Q < 9	50
7,2 < Q <18	100
14,4 < Q < 36	200

1.1.2 CRONÓMETRO Y FLOTADOR

El caudal Q es proporcional a la velocidad del agua y a la sección del flujo. Este método es válido solamente para el caso de flujo laminar (ver Anexo 6) y la precisión de la medida es baja ya que la velocidad no es constante a lo largo de la sección del caudal.

En la práctica, se mide la sección del flujo (tomada perpendicular al flujo) y luego, usando un cronómetro, se mide la velocidad de paso de un cuerpo flotante (corcho o madera). Este cuerpo flotante se debe poner en la dirección de medida, en el medio del canal. La velocidad obtenida es una velocidad superficial, generalmente superior a la velocidad promedio de la sección del flujo, por lo que hay que corregir el cálculo con un coeficiente B, tal que:

$$Q = B \cdot V \cdot S$$

donde Q es el caudal (m^3/s), V es la velocidad (m/s), S es la sección normal del flujo (m^2) y B es un coeficiente que oscila entre 0,6 y 0,8.

1.1.3 MEDIDA CON UN VERTEDERO

El vertedero es un instrumento que permite el cálculo del caudal a partir del espesor de una capa de agua. El principio consiste en colocar una tabla o una plancha metálica perpendicular al flujo. El espesor de la capa de agua que rebosa por encima de la plancha se mide y su valor es proporcional al caudal y dependerá de las características del vertedero. El flujo ha de ser laminar. Si no es así, siempre se puede disponer una plancha bastante alta para que el agua fluya lo más laminarmente posible. El espesor de la capa de agua se debe medir a una distancia del vertedero de al menos cinco veces el espesor máximo de la capa de agua (Figura 9.2).

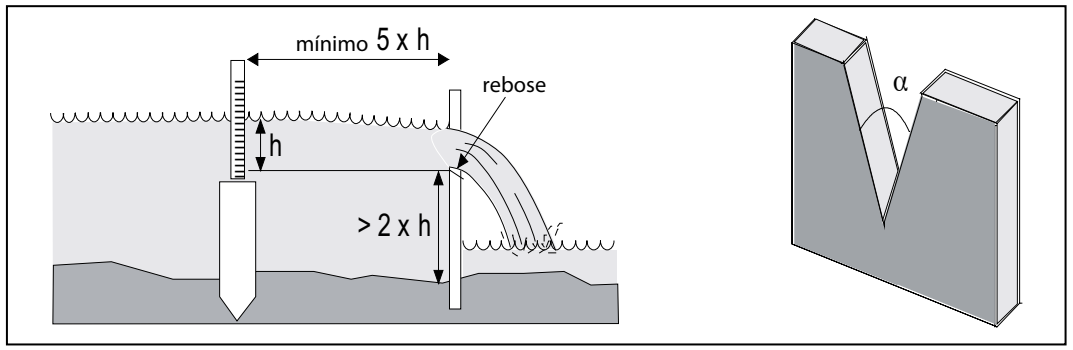


Figura 9.2: Vertedero de pared delgada.

La forma del vertedero se escoge según el rango de caudales a medir: el vertedero debe proporcionar una gran variación en la altura del agua a obtener con una pequeña variación del caudal. Las formas más corrientes son la triangular (hendidura en V) y la rectangular, conocidas como vertederos de pared delgada (ver Cuadro 9.1). Los vertederos triangulares se clasifican generalmente por su ángulo de apertura. La Tabla 9.IV proporciona el rango de aplicación de los vertederos de pared delgada más eficientes en función de su forma.

Tabla 9.IV: Elección del vertedero de pared delgada.
T: triangular. R: rectangular. a: ángulo de apertura. L: anchura de la hendidura

Caudal a medir (l/s)	Tipo de presa
0,3 – 40	T, $\alpha = 30^o$
1 – 100	T, $\alpha = 60^o$
20 – 150	T, $\alpha = 90^o$
20 – 200	R, L = 0,3 m
60 – 500	R, L = 1 m
300 – 1 500	R, L = 2 m
800 – 4 000	R, L = 5 m

En terreno, una vez se decide el tipo de vertedero, se procede a dibujar un gráfico que permita leer rápidamente el caudal en función de la altura de la capa de agua (Figura 9.3). El Cuadro 9.1 muestra las fórmulas más comúnmente usadas.

Cuadro 9.1
Vertedero de pared delgada.

Los vertederos se llaman también de 'pared delgada' cuando el espesor de la hendidura es inferior a h/2, siendo h el espesor de la lámina de agua.
La fórmula general para los vertederos hidráulicos es:

$$Q = \mu \cdot l \cdot h \cdot \sqrt{2} \cdot g \cdot h$$

En la que Q es el caudal (m^3/s), μ es el coeficiente de flujo para la presa (adimensional), l anchura del vertedero (m), h la altura del agua (m) y g la aceleración de la gravedad (9,81 m/s^2).

Vertedero rectangular sin restricción lateral

Cuando la anchura del vertedero es igual a la anchura del canal de suministro, el vertedero no reduce la anchura de la capa de agua.
La fórmula de Bazin, muy utilizada, define el coeficiente μ:

$$\mu = 0{,}405 + \frac{0{,}003}{h}\left[1 + 0{,}55\ \frac{h^2}{(h + P^2)}\right]$$

donde P es la altura de la hendidura (m). Esta fórmula es aplicable para valores de P entre 0,2 y 2 m, y h entre 0,1 y 0,6 m.

La fórmula SIA da:

$$\mu = 0{,}410\left[1 + \frac{1}{1000h + 1{,}6}\right]\left[1 + 0{,}5\ \frac{h^2}{(h + P^2)}\right]$$

Se aplica cuando P es mayor que h y h está entre 0,025 y 0,8 m.

Vertedero rectangular con restricción lateral

Cuando el canal de suministro es más ancho que la hendidura, el SIA da la siguiente fórmula:

$$\mu = \left\{0{,}385 + 0{,}025 \cdot \left(\frac{l}{L}\right)^2 + \left[\frac{2{,}41 - 2(l/L)^2}{1000h + 1{,}6}\right]\right\}\left[1 + 0{,}5\left(\frac{l}{L}\right)^4\left(\frac{h}{h + P}\right)^2\right]$$

donde L es la anchura del canal de suministro y l la anchura de la presa, ambos en metros.
Esta fórmula se usa cuando $P \geq 0{,}3$ m; $l > 0{,}31L$; $0{,}025L/T \leq h \leq 0{,}8$ m; $h \leq P$

Vertedero triangular

La fórmula general es:

$$Q = \frac{4}{5}\ m\ h^2\ \sqrt{2gh}\ \ tg\ \frac{\alpha}{2}$$

en la que Q es el caudal (m3/s), μ el coeficiente de caudal para el vertedero rectangular sin constricción lateral según la fórmula de Bazin, h el espesor de la lámina de agua (m) y a el ángulo del vertedero.

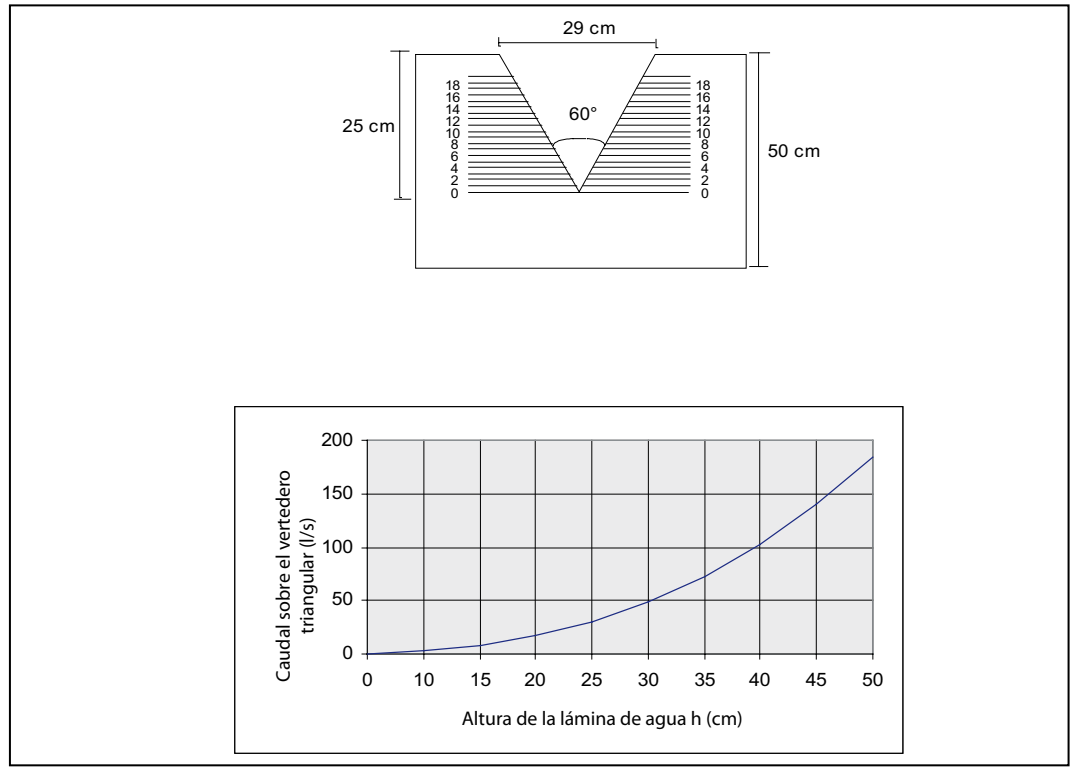


Figura 9.3: Gráfico diseñado para un vertedero de pared delgada triangular (usando la fórmula de Bazin, para una hendidura de 20 cm).

1.1.4 MÉTODO DE LA SAL DILUIDA (NUBE DE SAL)

Este método está indicado particularmente para los casos de flujo turbulento. Consiste en el análisis de las características del paso de un cierto volumen de solución salina introducida en la corriente del agua (Figura 9.4 y Cuadro 9.2). Se necesitan dos personas: la primera prepara una solución de sal y la introduce en la corriente. Aguas abajo, la segunda persona mide las variaciones de conductividad inducidas por el paso de la sal, usando un conductímetro común.

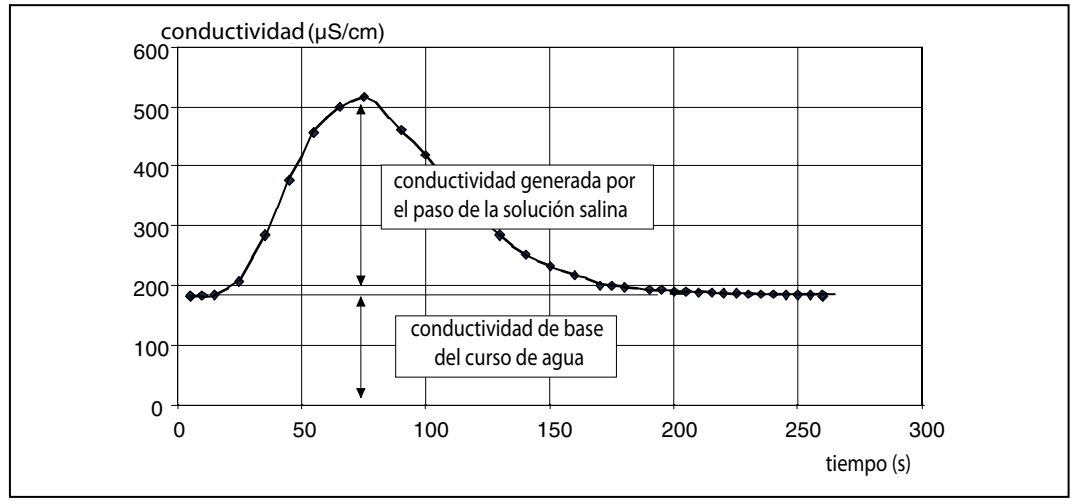


Figura 9.4: Método de la sal diluida (nube salina).

Cuadro 9.2
El método de la sal diluida (nube salina).

Durante el periodo de tiempo dt, la conductividad del agua medida durante el paso de la nube de sal es χ. Esta conductividad se puede expresar en términos de concentración:

$$c = k \cdot \chi$$

donde c es la concentración (g/l), χ es la conductividad (µS/cm) y k es un factor de conversión.

En el mismo tiempo dt, el volumen de agua que pasa es $Q \cdot dt$. La cantidad media de sal que pasa durante dt es, por tanto:

$$\chi \cdot k \cdot Q \cdot dt$$

A lo largo de todo el período de paso de la nube de sal:

$$M_{NaCl} = \Sigma\, k \cdot Q \cdot dt$$

ó

$$M_{NaCl} = k \cdot Q \cdot \int \chi \cdot dt$$

El caudal de la corriente es entonces:

$$Q = \frac{M_{NaC}}{k \cdot \int \chi \cdot dt}$$

donde Q es el caudal (l/s), M es la masa de sal (g), k el factor de conversión y $\int \chi\, dt$ es la integral sobre todo el período de paso de la nube [(µS/cm) · s].

Factor de conversión k

El factor k varía con la temperatura y la mineralización del agua. Para agua a 25ºC (corrección automática del conductímetro) y una mineralización ligera ($\chi_{agua\ sin\ tratar} \approx$ 200 µS/cm), k = 0,000548.

Concentración media

La fórmula $Q = M_{NaCl} / k \cdot \int \chi \cdot dt$ no es muy diferente de $Q = M_{NaCl} / \bar{c} \cdot t$, cuando la curva $\chi = f(t)$ es gaussiana, dónde $\bar{c}$ es la concentración media de NaCl a lo largo del período t ($\bar{c} = k \cdot \bar{\chi}$) y t es el tiempo de paso de la nube de sal.

Se recomienda dibujar la curva $\chi = f(t)$ en papel milimetrado e integrarla (método de los cuadros pequeños) para tener un grado suficiente de precisión. El cálculo basado en la conductividad promedio no es tan útil como cuando la curva tiene forma de gaussiana.

La solución de NaCl se prepara sin exceder el umbral de solubilidad de 300 g/l a 20ºC. La cantidad de sal a usar depende del caudal de la corriente y de su conductividad base: el objetivo consiste en doblar la conductividad de la corriente para ser capaces de detectar el paso de la nube salina. Para caudales de 100 a 3 000 l/s, una cantidad de 1 kg de NaCl por cada 100 l/s permite multiplicar por 2,5 la conductividad base de una corriente de agua de baja mineralización (conductividad de 200 µS/cm a 25ºC). La solución se vierte rápidamente en una zona donde la turbulencia facilita su mezcla con la corriente.

La distancia entre el punto del vertido y el de medida se escoge de modo que se -obtenga una curva de paso [c = f(t)] con una distribución Gaussiana (Figura 9.4). Una distancia media de 80 a 100 m suele dar buenos resultados. Es importante seleccionar un tramo de la corriente donde las pérdidas y las áreas muertas sean lo más escasas posibles con el fin de no perder ni inmovilizar parte alguna de la solución de NaCl.

El caudal de la corriente de agua viene dado por:

$$Q = \frac{M_{NaC}}{k \cdot \bar{\chi} \cdot t}$$

donde Q es el caudal (l/s) de la corriente de agua, M es la masa de sal usada para hacer la solución (g), χ es la conductividad media inducida por NaCl a lo largo del tiempo t (µS/cm), k es el factor de conversión conductividad/concentración($k \approx 5{,}48 \cdot 10^{-4}$), y t el tiempo de paso de la nube de sal (s).

1.1.5 MOLINETES HIDROMÉTRICOS

Los molinetes hidrométricos, también llamados velocímetros, consisten en un eje con una hélice en un extremo. La hélice gira libremente y su velocidad de rotación es proporcional a la velocidad de la corriente, si el flujo es laminar.

Se registra el número de rotaciones de la hélice producidas por el flujo, en una sección normal de la corriente a varias profundidades y distancias de los márgenes. Después de convertir el número de rotaciones en velocidad, es posible calcular el caudal que pasa por la sección medida, cuando se conoce el área de esta sección.

CAPÍTULO X

Aguas subterráneas. Acuíferos

1	**Agua en el subsuelo**	195	2.3	Acuíferos en las grandes cuencas sedimentarias	210
1.1	Reserva de agua	196	2.4	Acuíferos muy heterogéneos	211
1.2	Flujo de agua	200	**3**	**Recarga de los acuíferos**	212
2	**Principales clases de acuíferos**	204	3.1	Seguimiento piezométrico	213
2.1	Acuíferos en zonas de roca dura	205	3.2	Balance simplificado del agua	213
2.2	Acuíferos en rocas no consolidadas	208	**4**	**Calidad de las aguas subterráneas**	214

Según Castany (1982), casi el 60% del agua potable del globo está almacenada en forma de hielo o nieve, menos del 0,5% es el agua superficial en los continentes, y el 40% son aguas subterráneas. El aprovechamiento de este punto de suministro es vital para muchas poblaciones.

1 AGUA EN EL SUBSUELO

Las formaciones geológicas en que se acumula el agua subterránea y que son capaces de cederla reciben el nombre de acuíferos. El acuífero no es necesariamente un entorno geológico homogéneo: se puede componer de varios tipos de rocas y estratos. Las formaciones geológicas que constituyen acuíferos pueden incluirse en uno de estos dos grupos:

– I. Acuíferos formados por depósitos no consolidados.
– II. Acuíferos formados por rocas consolidadas.

Los acuíferos formados por depósitos no consolidados, están constituidos por materiales sueltos, fundamentalmente arenas, gravas o mezclas de ambas de origen geológico muy diverso.

Los acuíferos formados por rocas consolidadas pueden presentarse en:

– a) Calizas y dolomías (fisuradas, fracturadas y karstificadas).
– b) Conglomerados o areniscas (disueltas y con algunas partes cementadas).
– c) Rocas volcánicas alteradas (escoriáceas).
– d) Algunas rocas cristalinas (granitos fracturados, por ejemplo).

Los límites espaciales se componen generalmente de una formación geológica base (o sustrato) impermeable en su parte inferior, a veces tiene una formación geológica impermeable en su parte superior (techo) y lindes o restricciones laterales al flujo.

El agua subterránea es la total comprendida en el acuífero, alimentada generalmente por la precipitación útil (la fracción de la lluvia que se filtra por el terreno y llega al acuífero) y por los aportes desde las aguas superficiales (corrientes y lagos).

Los acuíferos no son masas de agua estáticas: parte del agua abandona el acuífero por los manantiales, alimentando aguas superficiales (corrientes superficiales, lagos, mares), parte se bombea y parte se evapora (Figura 10.1).

Para describir un acuífero, se usa un grupo de parámetros relacionados con su naturaleza, geometría y sus dos funciones principales: almacenamiento de agua y capacidad de permitir el flujo del acuífero (ver Cuadro 10.1).

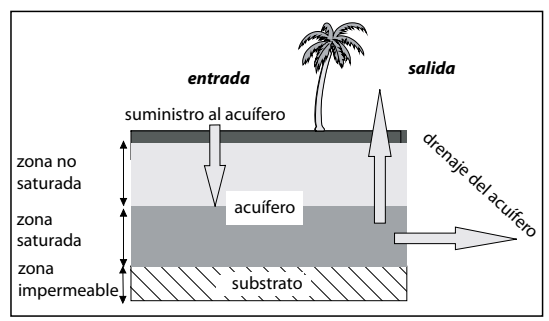


Figura 10.1

Cuadro 10.1
Volumen de una muestra representativa.

Un entorno poroso puede definirse físicamente por tres características:

– ***Continuidad/discontinuidad****: un entorno se considera continuo si los espacios vacíos (poros) se hallan interconectados en la dirección del flujo*.

– ***Homogeneidad/heterogeneidad****: un entorno se considera homogéneo si sus características son constantes en la dirección del flujo*.

– ***Isotropía/anisotropía****: un entorno es isótropo si sus características son constantes en las tres direcciones del espacio*.

Los conceptos de porosidad y permeabilidad, definidos en secciones sucesivas, son conceptos relativos a la escala de observación. En efecto, una roca fisurada se considera que no es homogénea si se observa con una escala de centímetros, pero es homogénea a escala de kilómetros.

El concepto volumen de una muestra representativa (RSV) describe las características de un acuífero: por ejemplo, en entornos de arenas o gravas se usa una RSV a escala de cm^3 y en el caso de roca fisurada la escala es de m^3 o km^3.

Aunque este concepto de RSV se use a menudo, no deja de presentar problemas. Por ello, algunos autores definen el concepto de función aleatoria y estudian el entorno como el desarrollo de fenómenos aleatorios (De Marsily 1986).

1.1 Reserva de agua

La cantidad de agua almacenada en un acuífero en un momento dado depende del volumen de la reserva y de su capacidad de contener agua (Figura 10.2).

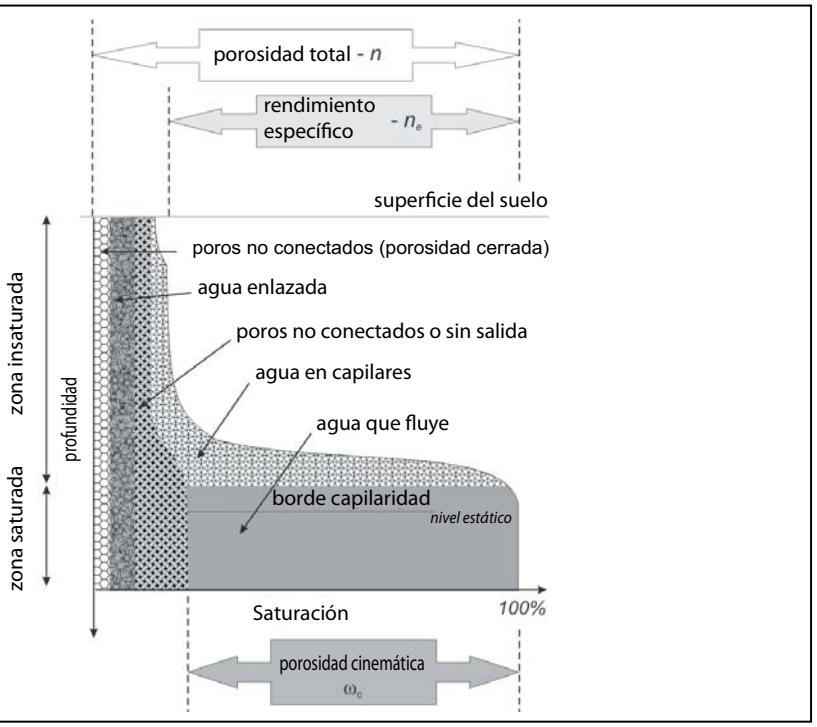


Figura 10.2: Tipo de agua subterránea y capacidad de almacenamiento (almacenabilidad).

Cuadro 10.2
Análisis de la granulometría.

La granulometría permite conocer:

- el estudio de las características de las partículas y de los espacios vacíos de un entorno poroso;
- la clasificación de las formaciones geológicas por su nombre;
- el cálculo de los parámetros característicos de las partículas;
- la definición precisa del plan para equipar el pozo.

El análisis del tamaño de partícula se refiere a una muestra de la formación en estudio. Tamizando sucesivamente la muestra, se separan por tamaño las partículas y se pesan. Los resultados se representan en un gráfico (Figura 1). Los tamaños de partícula (mm) se representan en el eje horizontal de forma logarítmica y el peso acumulado (%) en el eje vertical.

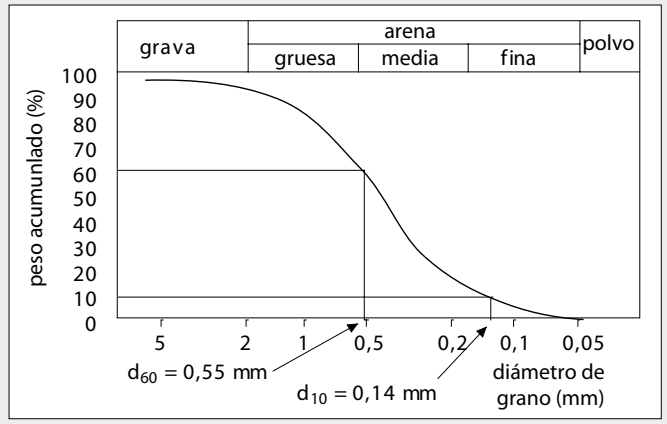


Figura 1: Curva de granulometría.

Clasificación de las rocas

Hay varias clasificaciones para las rocas no consolidadas en función del tamaño de partícula, como la que propone Castany (1982):

Denominación	Diámetro de partícula (mm)
Piedras, cantos	>16
Grava	16 – 2
Arena gruesa	2 – 0,5
Arena media	0,5 – 0,25
Arena fina	0,25 – 0,06
Polvo	0,06 – 0,002
Arcilla	<0,002

Parámetros característicos

La mayoría de las muestras de la naturaleza son mezcla de varios tamaños de partícula. La curva granulométrica define todo un grupo.

El coeficiente de uniformidad $CU = d_{60}/d_{10}$, permite el cálculo de la pendiente de la curva. Si CU < 2 la granulometría se dice que es uniforme, de lo contrario se considera mezclada.

El diámetro característico, d_{10} es una dimensión convencional que se usa corrientemente para referirse a una muestra.

Porosidad total

La mayor parte de las rocas contienen un porcentaje de espacio vacío que puede ser ocupado por el agua. Se denomina porosidad total (n) a la capacidad de un acuífero de almacenar agua de modo que:

n = volumen de los espacios vacíos / volumen total de la muestra

La porosidad total se expresa generalmente como un porcentaje. Los espacios vacíos no tienen que estar conectados entre ellos necesariamente y el agua no siempre tiene que fluir libremente dentro de la roca: la porosidad total es una condición necesaria pero no suficiente para que circule el agua.

Se distinguen generalmente dos tipos de porosidad, según la naturaleza geológica del acuífero. La microporosidad (llamada también porosidad primaria o intersticial) se refiere a la porosidad intrínseca de las rocas, mientras que la macroporosidad (de fractura o secundaria) corresponde a la inducida por las fisuras, fracturas o desarrollos cársticos de rocas consolidadas. Algunos acuíferos presentan una porosidad doble, intersticial y de fractura al mismo tiempo, tales como algunos tipos de gres o rocas carbonatadas.

La porosidad total de una roca no consolidada (arena, grava) viene determinada por la granulometría, que se estudia por tamizado de un volumen de roca y se representa con una curva granulométrica normalizada (Cuadro 10.2). A mayor desigualdad de las partículas, menor porosidad. En caso de que la granulometría fuera uniforme el tamaño de las partículas no influye en la porosidad total: es la disposición de las partículas la que gobierna la porosidad total, que varía teóricamente entre el 26% y el 48% (Schneebely).

Relación agua/roca

La experiencia demuestra que no se puede extraer fácilmente una parte del agua contenida en la roca. Se hace distinción entonces entre el agua combinada con la roca por fuerzas de atracción molecular y el agua libre, que se puede mover por acción de la gravedad o por gradientes de presión.

De acuerdo con De Marsily (1986), el agua combinada consiste en una capa de 0,1 µm de espesor compuesta de moléculas de agua adsorbidas sobre la superficie de los granos de roca, y además, de una capa de agua de 0,4 µm de espesor, llamada película o capa límite, sujeta a una fuerza de atracción apreciable.

La proporción de agua combinada es tanto mayor cuanto mayor sea la superficie específica (Sp) de la reserva:

Sp = superficie total de los granos o de las fisuras / volumen total de la muestra

Una arena media presenta, por ejemplo, una superficie específica de 10 a 50 cm^2/cm^3, y una arcilla de 500 a 800 m^2/cm^3. Lo que explica el hecho de que algunas arcillas contengan mucha agua, pero es agua combinada que no se puede extraer por bombeo: se considera que estas arcillas son impermeables.

En una roca no consolidada, la superficie específica está relacionada con la granulometría. Se usa generalmente el diámetro d_{10} y el coeficiente de uniformidad para caracterizar la muestra (Cuadro 10.2).

Hay que indicar igualmente la existencia de agua capilar suspendida por fuerzas de capilaridad justo encima de la zona saturada. Esta franja capilar es bien conocida por los que excavan pozos, pues es la primera señal de la presencia de agua en la excavación.

Porosidad cinemática, porosidad efectiva y coeficiente de almacenamiento (almacenabilidad)

En la zona saturada, el agua libre es la que puede fluir más la contenida en los poros que no están interconectados (porosidad cerrada) (Figura 10.2). La porosidad cinemática ω_c (llamada a veces porosidad efectiva) es el agua que puede fluir en la zona saturada; se usa a menudo para hacer modelos de caudal y transporte y se define como la relación entre la velocidad de Darcy y la velocidad lineal verdadera (ver secciones siguientes).

Hay que indicar que la porosidad cerrada puede jugar un papel importante en entornos cársticos y de roca dura o basamento cristalino, pero se puede despreciar en los sedimentos no consolidados.

La parte del agua subterránea de interés para el suministro es el agua que puede fluir, que se corresponde con la almacenabilidad. Se define entonces la porosidad eficaz (n_e) que corresponde a la relación entre el volumen de agua que se podría drenar completamente por acción de la gravedad y el volumen total de muestra, expresado en porcentaje.

En un acuífero confinado (ver Sección 2) el agua que se libera está relacionada con la expansión del agua y con el efecto de compactación del acuífero atribuidos a los cambios de presión debidos a la extracción de agua por bombeo. Esta liberación de agua 'elástica' se puede cuantificar por el coeficiente de almacenamiento (De Marsily 1986):

$$S \approx [\rho \, . \, g \, . \, n. \, (\beta_1 + \alpha/n)].e$$

donde ϱ es la relación masa de agua/volumen, g la aceleración de la gravedad, β_1 la compresibilidad el agua, α la compresibilidad del acuífero, n la porosidad total y e el espesor saturado.

Cuando se extrae agua de un acuífero saturado no confinado convirtiéndolo en insaturado, la cantidad de agua extraída viene determinada tanto por fenómenos de liberación elástica de agua como por su movimiento debido a la gravedad. El coeficiente de almacenamiento es entonces:

$$S = \{[\rho.g(n.\beta_1 + \alpha/n)].e\} + n_e$$

en el que el término ϱ.g(n.β1 + α/n)].e, representa el fenómeno elástico y n_e es un parámetro relacionado con el rendimiento específico, que es:

$$n_e = \textit{volumen gravitatorio del agua / volumen total}$$

Como el valor del coeficiente de almacenamiento es inferior al valor del rendimiento específico en varios órdenes de magnitud, la almacenabilidad de un acuífero no confinado se suele considerar que es igual al rendimiento específico. Esto significa que la extracción de agua (o almacenamiento) se debe a la porosidad eficaz por gravedad del acuífero a causa del descenso del nivel por bombeo. Por esta razón, se denomina comúnmente porosidad de drenaje, porosidad de gravedad o porosidad eficaz al almacenamiento específico.

Hay que tener en cuenta que un acuífero confinado que deja de ser saturado por el bombeo (si el nivel dinámico desciende por debajo de la capa de confinamiento) se convierte en no confinado. La porosidad eficaz específica (S_d) es el parámetro que cuantifica el volumen de agua que se puede liberar potencialmente en un acuífero confinado por la acción de la gravedad. (Lubczynski & Roy 2003).

En la naturaleza, el fenómeno de la porosidad eficaz tiene lugar dentro de un acuífero no confinado cuando desciende el nivel del agua (por bombeo por ejemplo).

En una capa cautiva (acuífero confinado), la liberación de agua no se produce por gravedad, sino por la descompresión el agua y de la reserva producida por un descenso de la carga (ver Anexo 12). Como la compresibilidad del acuífero y del agua son muy bajas, no se habla de una porosidad eficaz si no de un coeficiente de almacenamiento (S) definido como el volumen de agua liberada por un prisma vertical de acuífero de sección unitaria, cuando la carga (presión) varía en una unidad; esta magnitud no tiene dimensiones.

Estimación de la porosidad

La porosidad se puede determinar con pruebas de laboratorio. Sin embargo, en los programas de ACF, es más práctico calcular la porosidad in situ, sobre el terreno.

El método más fiable para el cálculo del coeficiente de almacenamiento (S) y/o el rendimiento específico (S_y) se basa en las pruebas de bombeo (ver Capítulo XIV). La geofísica puede usarse también en entornos adecuados para estimar la porosidad de un medio (ver Capítulo XI). La prospección por métodos eléctricos permite establecer una relación entre la resistividad de una roca y su porosidad, usando la fórmula de Archie para sedimentos no consolidados sin arcilla (lo que no es corriente). La prospección por resonancia magnética MRS permite estimar la capacidad de almacenamiento si se calibran los resultados con pruebas de bombeo.

La Tabla 10.I da valores de la porosidad total y rendimiento específico para varios tipos de reservas de agua.

Tabla 10.I: Rendimiento total y específico, diámetro d_{10} (Castany 1982).

Tipo de reserva	D_{10} (mm)	n (%)	ne (%)
Grava media	2,5	45	40
Arena gruesa	0,25	38	34
Arena media	0,125	40	30
Arena fina	0,09	40	28
Arena polvo	0,005	32	5
Polvo	0,003	36	3
Arcilla	0,0002	47	-

1.2 Flujo de agua

Además de la capacidad de almacenar agua, un acuífero es capaz de transmitirla. En la reserva, el movimiento del agua viene determinado por tres grupos de parámetros: permeabilidad y transmisividad; pérdida de carga y gradiente de presiones; velocidad y caudal.

Permeabilidad y transmisividad

La permeabilidad es la capacidad que tiene una reserva de permitir el paso de agua a su través bajo el efecto de un gradiente hidráulico. Se clasifica en: permeabilidad intrínseca k (expresada en m^3 o en una unidad llamada Darcy que tiene en cuenta las características de la reserva), y la conductividad hidráulica K (expresada en m/s) que tiene en cuenta las características de ambos, la reserva y el fluido, como sigue):

$$K = \frac{g}{\nu} \cdot \frac{d^2}{\alpha} = \frac{g}{\nu} \cdot k$$

donde K es la conductividad hidráulica, que depende del líquido (g/ν) y del entorno poroso (d^2/a); k es la permeabilidad intrínseca, que depende únicamente del entorno poroso (d^2/a); g la aceleración de la gravedad; ν es la viscosidad cinemática del fluido; d una dimensión característica del entorno y a una constante adimensional.

En hidrogeología se asume normalmente que las características el agua son constantes (viscosidad dinámica y peso específico), por lo que se puede trabajar directamente con la conductividad hidráulica. Hay que tener en cuenta que el parámetro con mayor influencia sobre la conductividad hidráulica en hidrogeología es la temperatura del agua (a causa de la viscosidad); esta influencia se pone de manifiesto al observar que la conductividad hidráulica se reduce un 40% al descender la temperatura desde 25ºC a 5ºC.

El coeficiente K se puede calcular con métodos de laboratorio o sobre el terreno. Sobre el terreno, el cálculo se hace a pie del pozo perforado:

– prueba de bombeo (ver Capítulo XIV): altamente recomendable, por tener en cuenta la heterogeneidad del terreno;

– pruebas de Lefranc para terrenos homogéneos y de Lugeon para terrenos fracturados: métodos que permiten el cálculo de la permeabilidad local aplicables solo al entorno próximo del pozo;

– pruebas usadas en el saneamiento (ver Capítulo XIX).

Las pruebas de laboratorio requieren el uso de:

– un medidor de permeabilidad a nivel constante (K < 0,0001 m/s) o a nivel variable (K > 0,0001 m/s), (ver el experimento de Darcy);

– fórmula de Hazen, que define la permeabilidad para un entorno granulométrico uniforme como $K_{Hazen} = (0,7 + 0,03t_F).d_{10}^2$ donde t es la temperatura del agua (ºF) y d_{10} el diámetro de partícula (cm), de manera que sólo el 10% de las partículas tienen un tamaño inferior.

La Tabla 10.II da órdenes de magnitud para valores de la permeabilidad. El límite de la impermeabilidad se fija generalmente en el coeficiente $K = 10^{-9}$ m/s.

La transmisividad es un parámetro que expresa la productividad de un acuífero, de suerte que: T = K.e, siendo T la transmisividad (m^2/s), K la conductividad hidráulica (m/s) y e el espesor del acuífero saturado (m).

Tabla 10.II: Orden de magnitud de la conductividad hidráulica K (m/s) (Brassington).

Impermeable				Semipermeable				Permeable	
10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Rocas no consolidadas									
arcilla sólida		Polvo, arcilla y mezclas		Arena fina		Arena limpia, mezcla arena y grava		Grava limpia	
Rocas consolidadas									
granitos, gneiss, basaltos compactos		Arenisca, caliza compacta, esquistos arcillosos				Roca arenisca fracturada		Karst	

Potencial hidráulica

En un medio poroso, la energía se expresa en términos de potencial o altura, de modo que la unidad es una longitud (ver Anexo 12). La carga hidráulica se expresa con referencia al nivel del mar, mientras que la potencial piezométrica se expresa con relación a un origen que hay que definir: el nivel del suelo, la parte superior del tubo del pozo perforado, etc.

Caudal y velocidad del agua

Henri Darcy estableció experimentalmente en 1856 la fórmula que lleva su nombre (Figura 10.3) para definir el caudal que pasa a través de un medio poroso, de modo que:

$$Q = K \cdot A \frac{\Delta h}{L}$$

en la que Q es el caudal a través del medio poroso (m^3/s), K es la conductividad hidráulica (m/s), A es la sección de paso perpendicular al flujo (m^2), L la longitud del medio por el que pasa el caudal (m), y Δh la pérdida de potencial hidráulico entre ambos extremos de la longitud L.

El gradiente hidráulico se define como i = Δh/L, un factor adimensional, que lleva a la simplificación:

$$Q = K.A.i.$$

La ecuación de Darcy es válida siempre que:

– el medio sea continuo, homogéneo e isotrópico (Cuadro 10.1);

– el flujo sea laminar;

– el flujo sea permanente (ver Anexo 6).

En la realidad, el flujo subterráneo suele cumplir estas condiciones excepto en medios heterogéneos tales como entornos cársticos o en las inmediaciones de un sondeo de uso prolongado. La transición de un régimen laminar a uno turbulento se puede estimar a partir del gradiente hidráulico por medio de una fórmula empírica. De este modo, De Marsily (1986) define el límite del gradiente para que sea válida la fórmula de Darcy como $i = 1/15 (K)^{½}$.

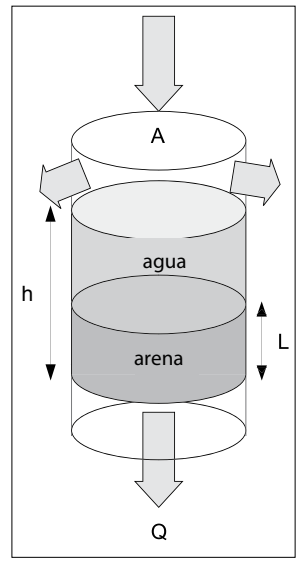


Figura 10.3: Experimento de Darcy.

Si expresamos la ecuación de Darcy en términos de unidad de área, la velocidad de filtración, o caudal unitario, se obtiene como: q = K.i (m/s). El caudal que pasa a través de un acuífero puede calcularse con la ecuación de Darcy. De hecho, conociendo K es fácil calcular

el caudal unitario entre dos puntos a partir de los niveles estáticos medidos en dos pozos. Además, si se puede conocer la geometría del acuífero (a partir de pozos perforados, o características geofísicas o geológicas), se puede determinar el caudal que pasa por la reserva (Figura 10.4).

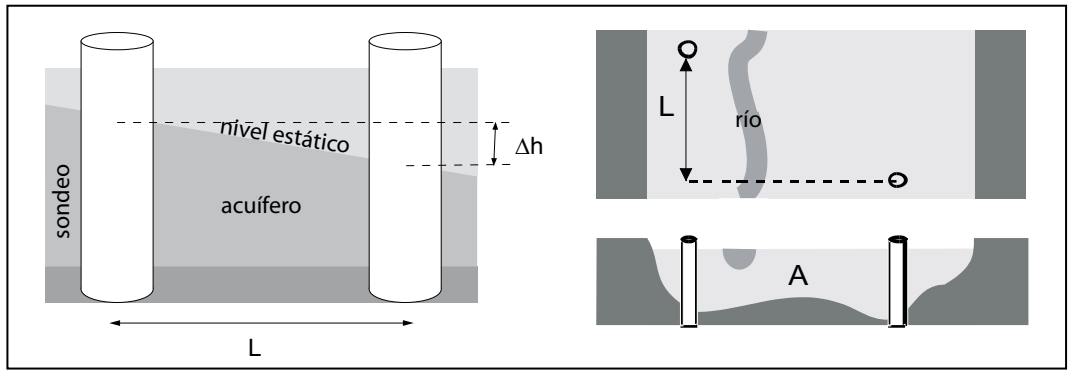


Figura 10.4: Aplicación del experimento de Darcy.

Hay que tener en cuenta que esta velocidad de filtración es teórica, porque asume que el agua usa la sección entera del acuífero para circular. Parte de esta sección se halla ocupada por los materiales del propio acuífero. Si suponemos que el agua no circula por la totalidad de la sección, si no por el espacio estimado a partir del rendimiento específico, la velocidad efectiva obtenida es:

$$V_e = \frac{q}{S_y}$$

Estas velocidades hidrodinámicas dan unos órdenes de magnitud que ayudan a comparar varios entornos, pero siguen siendo valores teóricos. Para tener velocidades más reales, es necesario recurrir a la hidrocinemática, en la que se usan métodos de rastreo para poner de manifiesto los caudales reales.

Piezometría

El mapa piezométrico de superficie se realiza con las medidas de nivel de agua realizadas en un grupo de pozos de un entorno homogéneo. Es un documento básico que permite conocer la dinámica de un acuífero. El mapa que se realiza de esta manera es válido sólo para un momento dado y tiene valor sólo cuando se basa en las líneas piezométricas trazadas con las medidas de pozos excavados, pozos perforados o manantiales correspondientes a un solo acuífero.

En programas humanitarios, los niveles piezométricos se pueden obtener midiendo en corto espacio de tiempo los niveles estáticos de cada pozo. Cada punto medido debe localizarse en el espacio: las coordenadas GPS para x e y, y la elevación topográfica para z. Estos valores permiten dibujar el mapa piezométrico (Figura 10.5): haciendo interpolaciones manuales (ver Anexo 6).

Los mapas piezométricos se interpretan de la siguiente manera:

– La curvatura de las líneas del mismo nivel (líneas isopiezométricas o contorno del acuífero) establece las diferencias entre flujos convergentes y divergentes. Un flujo divergente puede indicar una línea de separación del acuífero o una zona de recarga, mientras que un flujo convergente pone de manifiesto un eje de flujo preferente. Flujos rectos son raros, pero indican acuíferos planos, homogéneos y de espesor constante.

– El espaciado de las líneas va relacionado con la uniformidad del flujo. La proximidad de las líneas indica un elevado gradiente hidráulico (según la ecuación de Darcy, Q = K.A.i, si i aumenta y el caudal es constante, entonces A disminuye - aumenta el sustrato o disminuye el tamaño, o K diminuye – cambio de facies). Por el contrario, si las líneas piezométricas se separan y Q es constante, entonces A o K aumentan.

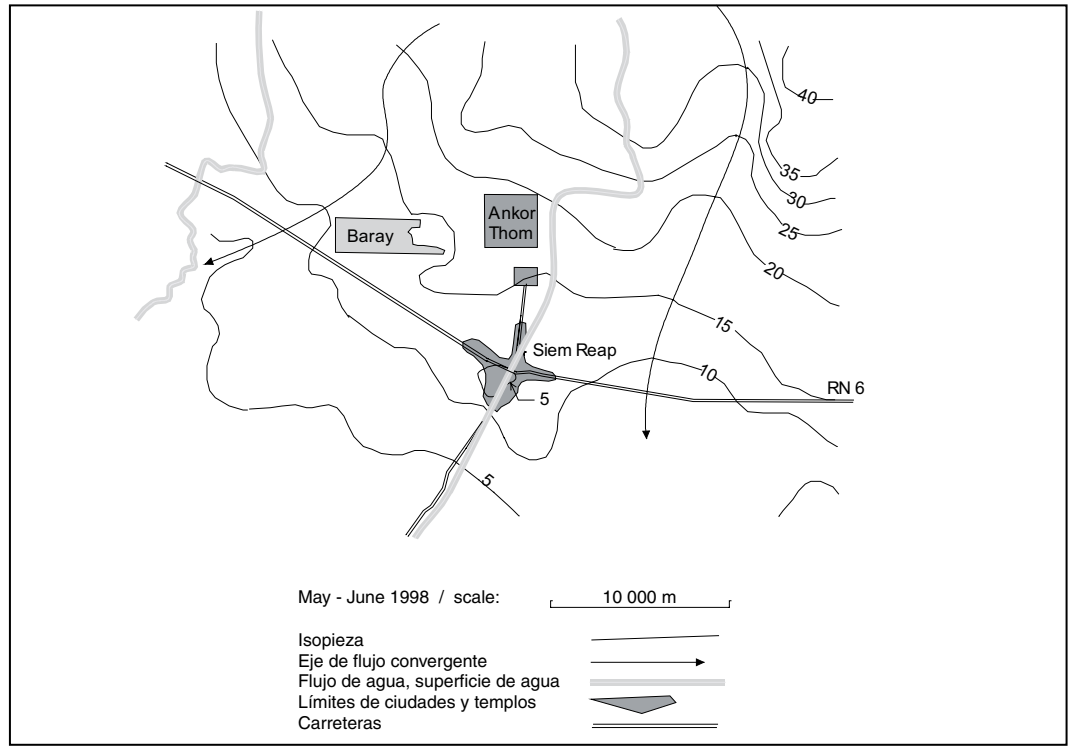


Figura 10.5: Mapa piezométrico (Pasat Bakong, distrito de Siem Reap, Camboya, ACF junio 1998).

De este modo se ve que es posible calcular la variación de ciertos parámetros del acuífero sobre la base del estudio del mapa piezométrico. De hecho, según Castany (1982), las variaciones de transmisividad lateral (K o e) son más frecuentes que las variaciones de caudal en el acuífero (un cambio importante de caudal puede ser debido a un suministro concreto: río, lago, etc.). En resumen, las líneas piezométricas con una curvatura indicativa de un flujo convergente que se espacian aguas abajo se corresponden con un eje de porosidad eficaz (flujo preferente) cuya permeabilidad o espesor aumenta aguas abajo. Este es el sitio más adecuado para llevar a cabo un pozo perforado o excavado (Figura 10.6).

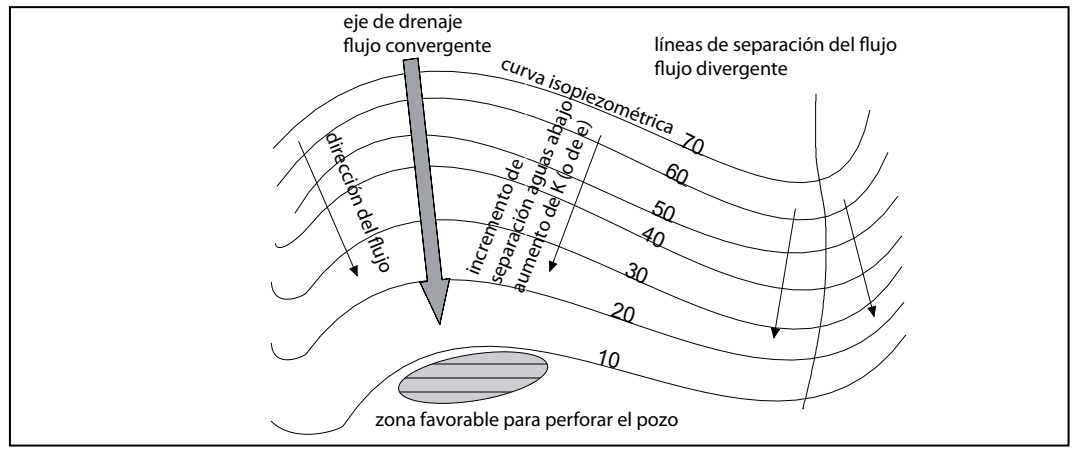


Figura 10.6: Piezometría.

Verificando mensualmente la piezometría de los pozos recientes se puede medir la influencia de la extracción sobre el comportamiento del acuífero, y estimar las variaciones estacionales del nivel piezométrico (ver Capítulo XIV).

2 PRINCIPALES CLASES DE ACUÍFEROS

La Tabla 10.III indica los principales parámetros hidrodinámicos que caracterizan los acuíferos. Los acuíferos se definen también por su geometría y sus límites. El límite inferior es una capa impermeable (teóricamente, $K < 10^{-9}$m/s), llamada base o sustrato. En lo que se refiere al límite superior:

Tabla 10.III: Principales parámetros hidrodinámicos de los acuíferos.

	Parámetros	Símbolo	Unidades	Notas
Almacenamiento	Porosidad total	n	%	$N = V_{vacío}/V_{total}$
	Porosidad cinemática (o efectiva)	ω_c	%	ω_c = velocidad hidrocinética/caudal de Darcy
	Rendimiento específico (o porosidad drenable)	S_y o n_e	%	$S_y = V_{agua\ grav}/V_{total}$
	Diámetro característico	d_{10}	mm	10% de la muestra más pequeña
	Superficie específica	S_s	cm^2/cm^3	$S_s = S_{grano}/V_{total}$
	Coeficiente de almacenamiento	S	adimensional	medida in situ (ver Capítulo XIV)
	Espesor	e	m	
	Reserva	W	m^3	W = S x e
Caudal	Conductividad hidráulica	K	m/s	medida *in situ* (ver Capítulo XIV)
	Permeabilidad intrínseca	k	m^2 o Darcy (D) $1D = 0{,}98\ 10^{-12}\ m^2$	para agua a 20ºC: $k(D) = 0{,}966\ 10^{-5}\ K$
	Transmisividad	T	m^2/s	T = K . e
	Carga hidráulica	H	m col. de agua	
	Nivel estático del agua	SWL	m	referido a un punto dado
	Gradiente hidráulico	i	adimensional	i = (H2 - H1)/L
	Caudal unitario (vel. filtración)	q	m/s	q = K . i
	Caudal de Darcy	Q	m^3/s	Q = K . A . i
	Velocidad efectiva	V_e	m/s	$Ve = q / S_y$

– si la cubierta superior es de un material impermeable (techo) o ligeramente permeable (llamado a veces acuicludo) y la presión piezométrica es superior a la elevación del techo, el acuífero se llama 'confinado'. Un pozo perforado en un acuífero confinado presenta, por tanto, un nivel piezométrico superior al del techo del acuífero. Si el nivel piezométrico es superior al nivel topográfico, entonces el pozo perforado es un pozo artesiano (Figura 10.7A);

– un acuífero en el que la parte superior es un área no saturada se llama 'acuífero no saturado'. En este caso, el nivel estático de un sondeo coincide con el nivel del agua en el acuífero (Figura 10.7B). El comportamiento de estos acuíferos presenta diferencias apreciables a lo largo del tiempo de bombeo. La productividad de un acuífero no confinado disminuye porque la transmisividad (T = K x e) disminuye

al bajar el espesor saturado del acuífero. La transmisividad de un acuífero confinado no varía durante el bombeo, siempre que el nivel piezométrico permanezca por encima del techo. En ocasiones, puede darse el hecho que un acuífero libre se convierta en confinado.

Los límites laterales de un acuífero pueden ser geológicos (fallas, cambios laterales de las facies, etc.) y/o hidrodinámicos, que son por tanto variables en el tiempo y en el espacio. Los límites del caudal concuerdan con los flujos de entrada o salida (suministro desde un lago, desagüe por medio de una fuente, etc.); los límites potenciales actúan sobre el acuífero imponiendo un nivel de presión (nivel del agua superficial, corriente de agua, etc.). A veces estos límites, llamados fronteras, vienen mezclados.

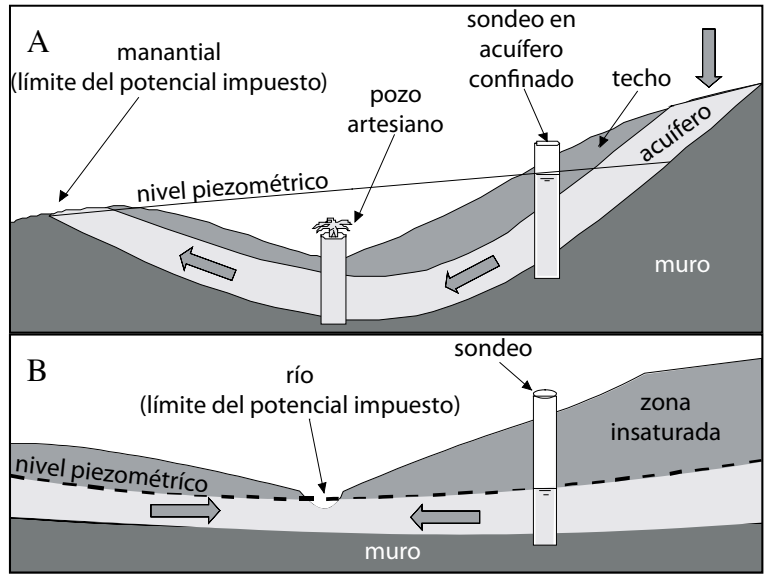


Figura 10.7: Acuíferos. A: Confinados. B: No confinados.

2.1 Acuíferos en zonas de roca dura

Las formaciones geológicas de roca base son muy comunes y han sido explotadas intensivamente durante más de veinte años. Estas rocas plutónicas y metamórficas se caracterizan por ser compactas y por tener baja porosidad y permeabilidad. Sin embargo, se han podido desarrollar en ocasiones horizontes permeables a causa de procesos físico-químicos de descomposición por factores ambientales y algunos fenómenos de origen tectónico han podido generar una permeabilidad secundaria en estas rocas que propician la formación de acuíferos. Algunas rocas sedimentarias antiguas se asemejan a rocas ígneas y metamórficas en su comportamiento hidrogeológico y se consideran, por tanto, como rocas duras.

Formaciones geológicas

Se pueden distinguir tres tipos de formaciones, cada una con sus características propias: granitos; gneiss y migmatitas; esquistos y rocas verdes; y gres de cuarcitas. Para simplificar, se considerará que los términos granito, esquistos y gres usados en esta sección son grupos de rocas con un comportamiento hidrogeológico parecido.

Los granitos son rocas compactas y relativamente rígidas. Se hallan generalmente fracturados presentando una red de fisuras y fracturas abiertas o cerradas dependiendo de la orientación. A profundidades superiores a 50 – 70 m se supone generalmente que la mayor parte de las fisuras están cerradas debido al peso de la columna del suelo. Los fenómenos de descomposición atmosférica que afectan a los granitos se deben esencialmente a la acción del agua y de la temperatura. Se constata la existencia

de una variedad considerable en la naturaleza y espesor de estas descomposiciones, dependen de las condiciones climáticas del lugar y de las del desagüe. Los granitos se descomponen dando lugar a unas arenas más o menos arcillosas con espesores que pueden alcanzar decenas de metros. En la base de estos productos de descomposición y sobre la capa en contacto con la roca base se suele encontrar una grava arenosa gruesa (Figura 10.8).

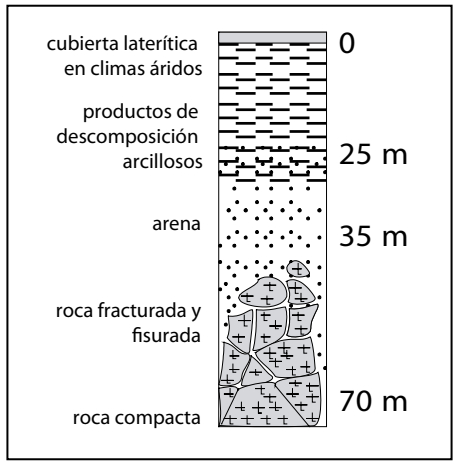


Figura 10.8: Perfil de descomposición de granitos.

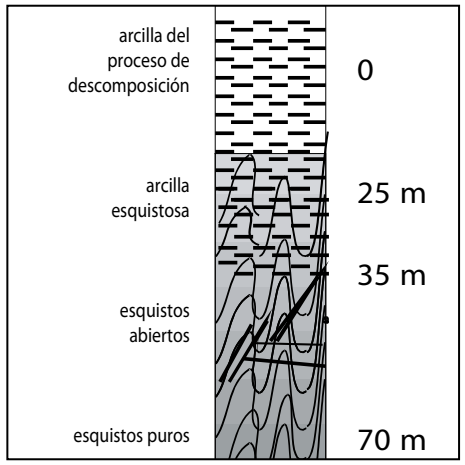


Figura 10.9: Perfil de descomposición de esquistos.

Los esquistos se deforman con mayor facilidad que los granitos y, por tanto, no suelen tener la red de fracturas bien desarrolladas (Figura 10.9). No obstante, pueden tener algún tipo de fracturas relacionado con su estructura. La descomposición de este tipo de rocas puede alcanzar mucha profundidad, pero generalmente es del tipo arcilloso.

El gres de cuarcitas suele estar bastante consolidado y presenta fracturas significativas. Generalmente sufre menos descomposición que otras rocas y suele presentar materiales de naturaleza distinta (carbonatos, perlitas, etc.) intercalados en el seno de la roca que pueden facilitar un flujo de desagüe.

Acuíferos

Hay tres tipos básicos de reservas:

– *reservas compuestas de productos de alteración de formaciones geológicas*, tales como gravas arcillo-arenosas, existentes en áreas considerables que constituyen zonas de basamento en África. El espesor promedio (10 – 20 m en zonas de granito y gneiss y 15 – 40 m en los esquistos del África Occidental) es mayor en zonas próximas al Ecuador y disminuyen a media que nos acercamos al trópico;

– *reservas fisuradas situadas justo sobre la roca base*. Son zonas parcialmente descompuestas, constituida por muchas fisuras y juntas, rellenadas generalmente con los productos de la descomposición. Estas reservas pueden tener decenas de metros;

– *redes de fallas o de grandes fracturas*, que pueden ser la base del movimiento del agua subterránea.

Se han llevado a cabo numerosos estudios en África Occidental (Lachassagne y otros 2001, Wright & Burguees 1992, Universidad de Avignon y de la Vaucluse 1990) que han demostrado que todas estas reservas son en realidad un solo acuífero en el que la capacidad de almacenamiento la proporcionan los productos de descomposición y la capacidad de transmisión de flujo las áreas fisuradas o fracturadas. El nivel estático se sitúa generalmente a la altura de los productos de descomposición. Este grupo puede desaguar a su vez por fracturas mayores, lo que les confiere el papel de ser conductores del agua de desagüe. Por otra parte, se pueden hallar localmente también acuíferos aislados en depósitos de productos de descomposición, fisuras o fallas.

El resumen estadístico de los datos en el África Occidental indica que el índice de éxitos y la productividad de los pozos perforados aumentan con el espesor de la capa de descomposición; y se puede hallar una relación empírica entre el caudal específico y el espesor de la capa de descomposición W_t en determinadas regiones. Hay, sin embargo, un nivel límite, a unos 35 m de profundidad, a partir del cual la productividad tiende a disminuir.

Otro tanto puede decirse de las zonas fisuradas y de descomposición: a partir de los 30 m de profundidad la productividad no parece aumentar; a partir de los 50 m no es nada seguro encontrar agua. A todas luces, este espesor es mayor en macizos arenosos. En la Figura 10.10 se indican los valores de varios tipos de caudales instantáneos (magnitudes aumentadas) obtenidos según el tipo de acuífero en los pozos perforados rurales de África Occidental.

La productividad y el índice de éxito de un pozo perforado dependen igualmente de la calidad de los productos de descomposición y de las fisuras: contenido de arcilla, densidad y grado de apertura o de bloqueo de las fisuras, etc. La Universidad de Avignon (1990) encuentra transmisividades de 0,0001 a 0,01 m^2/s y coeficientes de almacenamiento de 2×10^{-5} a 5×10^{-5} en rocas de granito-gneiss, en las pruebas de bombeo realizadas en Gana y Benin. Wright (1992) indica la obtención de una transmisividad promedio en las pruebas de bombeo sobre granitos y gneiss de Zimbabwe de 5×10^{-5} m^2 y conductividades hidráulicas desde $1{,}15 \times 10^{-7}$ a 3×10^{-5} m/s (datos de más de 500 pozos perforados).

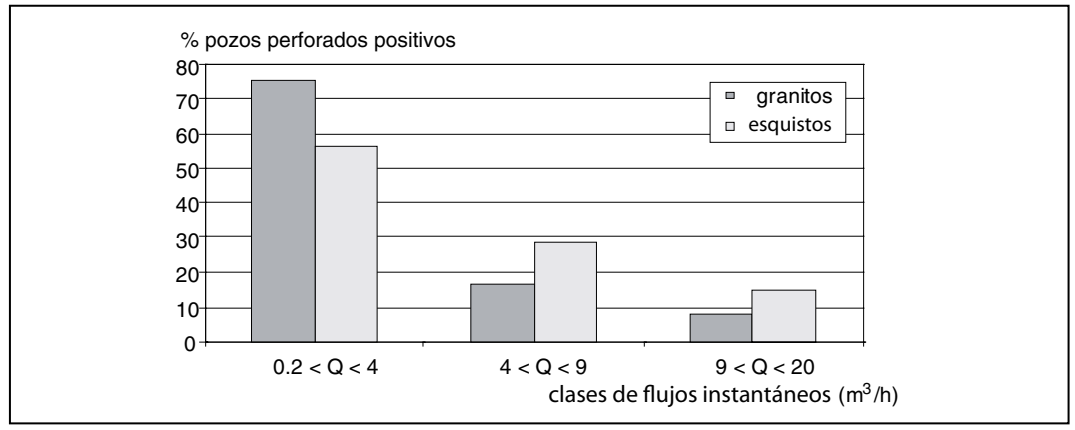


Figura 10.10: Frecuencia de caudales instantáneos en acuíferos sobre rocas base (BRGM 1992).

Recursos disponibles

La capacidad de almacenamiento de una zona de granito-gneiss se puede calcular a partir de de la almacenabilidad. Tomando un rendimiento específico (o porosidad eficaz específica) de 5% para la zona saturada de productos de descomposición y fisuras de 15 m de espesor, y un rendimiento específico variable desde 0,1% a 15 m a 0% a 50 m para la roca base, se obtiene una distribución de reservas potenciales como la que indica la Figura 10.11.

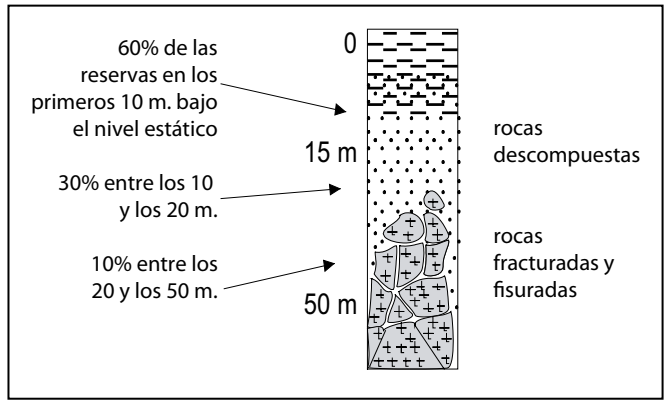


Figura 10.11: Reservas en la zona de roca base.

Aunque esta distribución sea indicativa, refleja el papel de almacenamiento que tienen los productos de descomposición y el papel de transmision de flujo del agua en el área fisurada. Esta reserva se corresponde con un volumen de agua disponible: que, de todos modos, aún tiene que fluir. Para las reservas en zonas de productos de descomposición, el límite para el suministro directo se

halla generalmente en los 400 mm en el área del Sahel, en los 600- 800 mm en la Sabana y en los 1 000-1 200 mm en las zonas costeras boscosas.

Un estudio llevado a cabo por BRGM entre 1984 y 1991 permite establecer órdenes de magnitud para el suministro y las reservas explotables en áreas de esquistos y granitos (Tabla 10.IV, Burkina Faso).

Tabla 10.IV: Recarga en zonas de roca base.

Clima	Lluvia (mm/año)	Recarga explotable (mm/año)	Volumen explotable (m^3/km^2/año)	Volumen explotable (m^3/km^2/día)
Sahel	500	50	50 000	130
Sur del Sahel	800	65	65 000	180
Sudán	>1 000	160	80 000	200

2.2 Acuíferos en rocas no consolidadas

Acuíferos de valle

La lluvia efectiva que se filtra en superficies grandes de suelo permeable suministra generalmente acuíferos no confinados. Estos acuíferos se llaman a veces capas freáticas, por ser los primeros que se encuentran al perforar un pozo.

Las salidas se suelen emplazar en los puntos más bajos de la topografía: manantiales, corrientes o el mar. En un clima como el del Sahel, el agua subterránea se puede evaporar directamente si el nivel piezométrico se halla próximo al suelo. (Cuadro 10.3).

Cuadro 10.3
Chotts y sebkhas.

Son áreas endorreicas, verdaderas máquinas de evaporación, que se pueden encontrar en el Sahel. Cuando el nivel piezométrico de un acuífero no confinado se halla próximo al nivel del suelo en clima árido, el agua resulta absorbida por la evaporación. La concentración de minerales disueltos en el agua subterránea aumenta hasta el punto de llegar a la sobresaturación y precipitación de estos minerales. Según la mineralización inicial del agua, pueden desarrollarse varios tipos de concentración y situaciones finales.

Estos fenómenos se pueden dar tanto en zonas continentales como en zonas litorales (lagunas supersalinas).

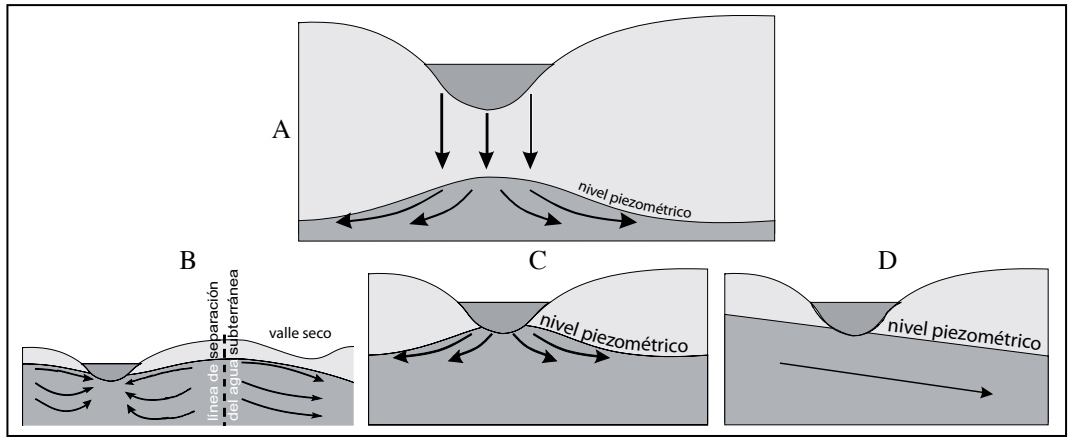


Figura 10.12: Interacciones entre ríos y acuíferos. A: río colgado, alimentando al acuífero. B: acuífero desaguando al río. C: río alimentando al acuífero. D: río independiente, lecho colmatado.

Las condiciones de los límites son variables, pero generalmente la relación entre el acuífero y la corriente es esencial: a veces limita el caudal entrante o saliente.

En zonas áridas, el caudal se concentra en corrientes de escorrentía (zonas bajas) que alimentan a su vez el acuífero: son generalmente cursos temporales de agua llamados wadis, oueds o ramblas (Figura 10.12A y 10.12C). En un clima templado, la corriente superficial desagua el acuífero (Figura 10.12B); sin embargo, el mismo curso de agua puede tener un período de suministro (estación húmeda, aguas altas) y otro de desagüe (estación seca, aguas bajas). Del mismo modo, una corriente puede cambiar de un régimen a otro a lo largo de todo o de parte del trayecto. Por último, una corriente puede que no tenga relación alguna con el acuífero (Figura 10.12D). Éste es el caso cuando el fondo de la corriente superficial está colmatada (impermeable).

Acuíferos aluviales

Se sitúan en los depósitos de aluvión de las corrientes de agua. Se hallan en equilibrio con el agua de la corriente, que desagua o alimenta el acuífero dependiendo de la situación de bajo o alto nivel estacional del curso de agua.

Un caso particular de depósitos fluviales son las terrazas de aluvión. La formación de estas terrazas se debe a la alternancia de períodos de erosión y depósito inducidos por variaciones climáticas (períodos glaciales, lluvias intensas) y movimientos tectónicos (levantamientos, hundimientos). Dependiendo de la ocurrencia simultánea de algunos de los factores apuntados se pueden dar dos tipos de terrazas: Las terrazas anidadas constituyen un acuífero único y heterogéneo (Figura 10.13A), mientras que las terrazas escalonadas constituyen acuíferos independientes, que, a veces, tienen líneas de manantiales en la parte inferior de contacto con el estrato de base (Figura 10.13B).

Cuando estos depósitos aluviales no se han alterado recientemente, los sedimentos más gruesos se encuentran en la parte inferior de cada terraza (clasificación granular positiva). El espesor de estos depósitos aluviales puede ser bastante grande. En términos generales, la permeabilidad de los materiales más gruesos es muy buena y conforma un tipo de acuífero de alta permeabilidad y baja capacidad de almacenamiento. La velocidad de renovación del agua es grande en términos generales, pero la calidad del agua se debe verificar cuando el acuífero se alimenta por una corriente superficial.

Este tipo de acuífero es el más evidente, puesto que su presencia está relacionada con la presencia de un curso de agua con vegetación asociada. Se explota generalmente de forma tradicional, si bien es necesario prestar atención a la relación corriente superficial/acuífero para evitar sorpresas desagradables: los sondeos exploratorios realizados por ACF en los depósitos aluviales del río Juba de Audegle (Somalia 1993) resultaron secos, porque el lecho del río estaba colmatado y no había acuífero aluvial alguno en esta parte de la región.

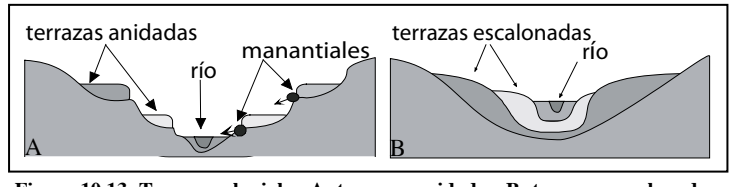


Figura 10.13: Terrazas aluviales. A: terrazas anidadas. B: terrazas escalonadas.

Acuíferos colgados

Se forman generalmente en depósitos sedimentarios al crearse un acuífero pequeño, situado por encima de la reserva principal, debido a la deposición de una capa de baja permeabilidad (generalmente arcillosa) en la zona no saturada del acuífero (Figura 10.14). Estos acuíferos suelen ser pequeños y las reservas escasas. También pueden ser temporales o perennes. Cuando se perforan los pozos, no se deben confundir loa acuíferos colgados con el acuífero no confinado que se busca.

Un ejemplo lo constituyen los acuíferos colgados en las areniscas de la meseta de Bateke en la cuenca del río Congo (misión exploratoria de ACF, 1998). Estos acuíferos, creados sobre horizontes de rocas silíceas impermeables, tienen, en algunas partes, niveles piezométricos superiores en varias decenas de metros al del acuífero profundo de las areniscas.

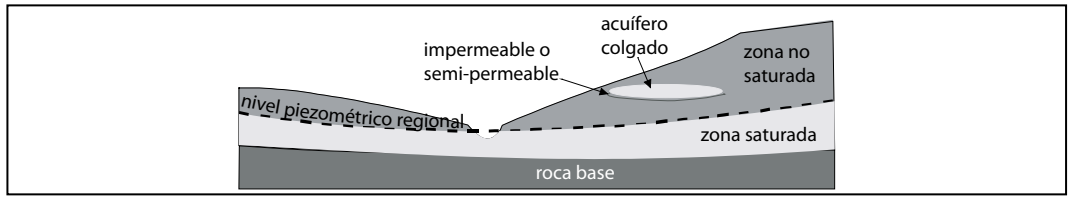


Figura 10.14: Acuífero colgado.

Bancos de arena costeros

Los bancos de arena se han desarrollado en numerosos sitios de la costa africana. El espesor de estos bancos puede ser suficiente como para permitir la creación de acuíferos de agua dulce, como una especie de lentejas de agua en contacto con agua salada por una parte y con el agua supersalina de una laguna por otra. La geometría de estos acuíferos depende en gran medida de las condiciones de suministro y extracción, aunque son muy vulnerables a la salinización por agua del mar. En 1994, ACF perforó un pozo de 12 m en una playa de este tipo en Monrovia. El agua siguió siendo potable con un ritmo de extracción de 1 m^3/h (la precipitación media anual es de 5 m).

2.3 Acuíferos en las grandes cuencas sedimentarias

Estas reservas están formadas por una serie, más o menos heterogénea, de varios tipos de sedimentos correspondientes a episodios sucesivos de sedimentación (Figura 10.15). Todas las formaciones pueden contener acuíferos, pero su función, calidad y potencial de explotación varían dependiendo de la profundidad.

Existen tres tipos principales de sistemas:

– *Los acuíferos no confinados* se comportan generalmente como capas freáticas o acuíferos aluviales. Su cuenca de suministro es proporcional al área superficial, que puede ser bastante considerable, el acuífero creado tiene una capacidad de almacenamiento considerable.

– *El acuífero multicapa* se forma en un grupo de niveles permeables separados por capas poco permeables o impermeables. El fenómeno del goteo permite la existencia de una relación entre dos acuíferos separados por una capa semipermeable y juega un papel importante, que permite considerar el sistema como único, pero constituido por varias capas. La cuenca de suministro es más limitada y se reduce a las zonas de afloramientos y al borde de la cuenca.

– *El acuífero confinado profundo* tiene generalmente un mal suministro, pero puede ofrecer una capacidad considerable de almacenamiento. La calidad no siempre es adecuada para el consumo humano debido a la mineralización elevada.

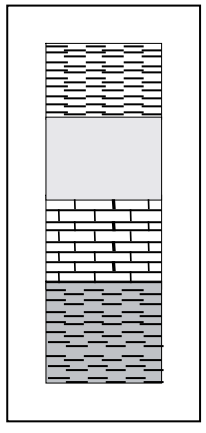


Figura 10.15: Perfil estratificado de una cuenca sedimentaria.

Las limitaciones para su aprovechamiento, a parte de las ya mencionadas, se relacionan con el contacto agua dulce/agua salada. De hecho, el agua de estos acuíferos fluye hacia los puntos más bajos, mares y océanos, al tiempo que el agua salada tiende a infiltrarse por el terreno permeable. Suponiendo que el agua salada permanece inmóvil y la interfase agua dulce/agua salada tiene un espesor limitado, se puede escribir la ecuación simplificada de 'Ghyben-Herzberg':

$$H = 40\ h$$

En la que h es la elevación del nivel piezométrico sobre el nivel del mar y H es la profundidad de la interfase agua dulce/agua salada bajo el nivel del mar. Esta relación simplificada permite calcular el perfil de la línea del borde (interfase) salado para el caso de una pendiente constante (Figura 10.16). Por tanto un descenso de 1 m en el nivel piezométrico (bombeo, por ejemplo) causa una elevación de la interfase salada de 40 m.

En realidad el fenómeno real es más complejo y la interfase agua dulce/agua salada puede ser muy grande, especialmente cuando el nivel del mar varía: ACF observó este fenómeno en la costa de Mangdaw (Myanmar, 1993-1998) donde el desnivel de las mareas crea una zona de mezcla bastante grande debido a la intrusión del agua salada en los ríos a lo largo de varias decenas de kilómetros. Solamente se puede usar la parte superior del acuífero en esta región, porque el agua se ha vuelto salina a partir de cierta profundidad (20 – 30 m).

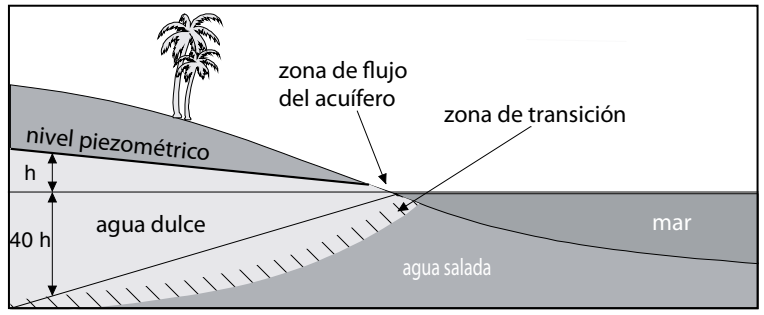


Figura 10.16: Interfase salada.

2.4 Acuíferos muy heterogéneos

Los medios cársticos y volcánicos se caracterizan por su gran heterogeneidad, tanto dentro de un acuífero como entre varios de ellos.

Karst

Existen varios tipos y definiciones de sistemas cársticos. Sin embargo, es posible hablar de algunas características comunes importantes. La reserva está formada por roca de carbonatos, que puede tener alguna permeabilidad, aunque en general no es significante. Lo que hace característico a un karst es la macro-permeabilidad debida a la disolución de la roca debido a la circulación del agua por los canales preferenciales (diaclasas, fisuras y fracturas).

En un macizo cárstico se pueden distinguir tres áreas (Figura 10.17).

– *Área superior* (generalmente con cubierta vegetal escasa) llamada a veces epikarst, en la que la roca es poco compacta (fisuras abiertas) que puede albergar en ocasiones algún acuífero superficial pequeño. No hay casi corrientes superficiales debido a la elevada filtración superficial. La actividad biológica carga el agua con CO_2 que acelera la disolución de la roca carbonatada.

– *Una zona no saturada*, a veces de gran espesor, que permite la filtración del agua procedente del epikarst. Esta filtración es rápida cuando se produce a través de canales de gran diámetro y es más lenta a través de fisuras, diaclasas e incluso a través de la porosidad intersticial. En esta zona se produce principalmente el flujo del agua, pero se almacena también bastante agua si el espesor es de consideración y/o se han desarrollado sistemas anexos de gran capacidad (cavidades).

– *Zona saturada*, conocida como karst inundado, que suelen tener salidas de todos tipos, algunas verdaderamente espectaculares. Los manantiales cársticos, de comportamiento variable y, a veces, con un caudal considerable.

Las reservas cársticas son generalmente importantes, aun cuando su estimación sea difícil. La permeabilidad y la porosidad de un medio altamente anisótropo como éste son difíciles de calcular, y los resultados de las pruebas de bombeo no se pueden tratar con las herramientas corrientes (Capítulo XIV). El estudio de estos entornos se lleva a cabo con una serie de herramientas basadas generalmente en el estudio del comportamiento del sistema.

La gestión de un karst desde el punto de vista cuantitativo es difícil, pero lo es aún más desde el punto de vista cualitativo. Evidentemente, un caudal elevado transfiere la contaminación con facilidad, en direcciones que no son fáciles de predecir, con lo que la protección de un karst es difícil.

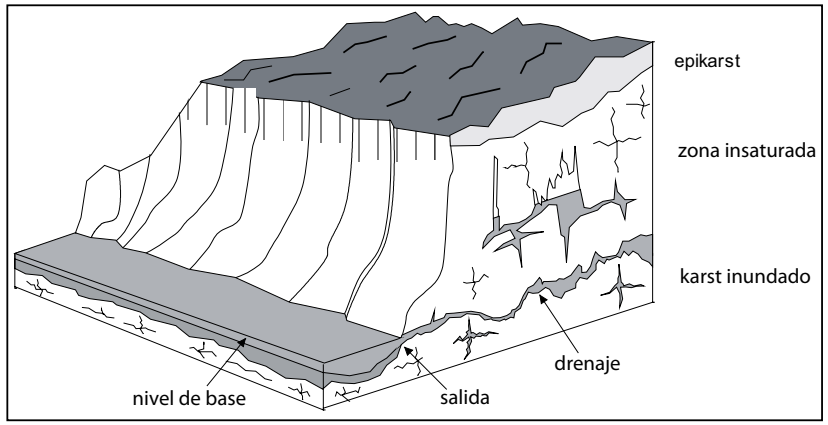


Figura 10.17: Karst.

Entorno volcánico

Los materiales volcánicos tienen características muy variables, aunque se pueden dividir básicamente en: flujos, extrusiones e intrusiones. Los flujos de lava pueden cubrir áreas extensas y tener espesores de centenares de metros. Aunque a veces son bastante compactos, estos flujos suelen ser altamente permeables si tienen fisuras; los productos de su descomposición son arcillosos. La formación de flujos consecutivos (desarrollo de alfombras) causa una cierta estratificación del medio. De la misma manera, los flujos se pueden estratificar con materiales proyectados (ceniza, piedras) cuya micro-permeabilidad es elevada. Hay también túneles de lava creados por el enfriamiento diferencial del flujo de lava y que constituyen áreas de gran permeabilidad. En términos generales, los materiales volcánicos favorecen mejor el flujo que el almacenamiento de agua.

Las vetas y diques de materiales volcánicos (de naturaleza dolerítica, generalmente) se hallan a veces fracturados o descompuestos y proporcionan un desagüe. Por el contrario, si no tienen descomposición, pueden formar barreras subterráneas al agua del subsuelo.

3 RECARGA DE LOS ACUÍFEROS

El estudio de las características de un acuífero se hace en un momento determinado y no se debe pensar que estas características permanecerán constantes a lo largo de todo el año, o de un año a otro. El mejor ejemplo, sin género de duda, es el espesor de un acuífero libre sensible al suministro: hay muchas zonas donde la productividad ha caído tras una fluctuación piezométrica anual o interanual. Hay un ejemplo gráfico en los pozos perforados al sur de Angola (Kunene), donde la producción ha caído a cero tras una disminución generalizada de los niveles piezométricos (ACF Angola 1998).

Es necesario también considerar el agua subterránea como un recurso renovable; en el acuífero, el agua que se extrae de los pozos interfiere en el equilibrio del ciclo natural del agua. Es, por tanto, aconsejable estimar el impacto de las extracciones del sistema y asegurarse de que no se seca intencionadamente el punto de suministro. Hay numerosos ejemplos de pozos perforados con producción decreciente tras algunos meses de uso; cuando el ritmo de extracción supera al de reposición, las reservas del sistema disminuyen. Un ejemplo tuvo lugar en un pozo perforado por ACF en Sudán en 1996, en el que una extracción de 5 m^3/h durante el plazo de desarrollo disminuyó progresivamente hasta cero prácticamente dos meses después.

Para calcular la recarga de un acuífero, se debe obtener el balance hidrológico. El volumen de agua que se recarga se supone que es igual al que se extrae, con una variación de la reserva. El balance hidrológico se expresa como:

Balance hidrológico = Entradas-Salidas +/– variación de las reservas

En los programas humanitarios a corto plazo no es posible determinar balances hidrológicos complejos, por ser un trabajo considerable que se ha de llevar a cabo con largos períodos de observación. Por otra parte, los caudales extraídos son generalmente pequeños. Sin embargo, en programas con duración de varios años, se puede hacer una estimación usando los datos disponibles o, simplemente, midiendo algunos parámetros sobre el terreno. Estas investigaciones no permiten sacar conclusiones definitivas, pero permiten formular recomendaciones (ver ejemplo en el Capítulo XI).

La medida de la recarga se lleva a cabo dentro de un sistema conocido: su geometría y el mecanismo hidráulico deben ser conocidos para las investigaciones preliminares (geología, sondeos, geofísica, etc.). La escala de trabajo es la cuenca hidrogeológica. La escala mínima de observación es un año, con intervalos de medida de un mes o de 10 días. De todos modos, las medidas realizadas únicamente durante un año no permiten la estimación del mecanismo de regulación indefinido por lo que los resultados tienen un valor indicativo solamente.

3.1 Seguimiento piezométrico

La forma más simple de conocer los efectos de la explotación de un acuífero consiste en llevar a cabo un seguimiento de la piezometría. La piezometría permite tener un seguimiento del comportamiento del acuífero si se hacen medidas mensuales a lo largo de varios años, cosa que es factible en la mayoría de los programas. Los pozos excavados y perforados se escogen de acuerdo con su situación y el sistema en consideración. En la práctica, se puede empezar a tomar medidas piezométricas sobre un gran número de pozos con el fin de dibujar un mapa tan real como sea posible. Con el fin de aligerar el trabajo, al cabo de algunas medidas sólo se continúa con el seguimiento de los pozos que se consideran representativos.

3.2 Balance simplificado del agua

Teniendo en cuenta las limitaciones inherentes a toda intervención humanitaria, sólo será posible calcular el balance hidrológico en los sistemas relativamente simples, donde se puedan cuantificar fácilmente las aportaciones y las extracciones. Estos sistemas presentan un equilibrio parecido al de la Tabla 10.V.

Se usan dos métodos, y el equilibrio se verifica comparando los dos resultados. El método “aguas arriba” consiste en el cálculo de la recarga por medio de la estimación de los aportes al sistema. El método “aguas abajo” estima la recarga midiendo las extracciones del sistema. La estimación sólo puede considerarse satisfactoria si ambos métodos dan resultados similares.

Tabla 10.V: Equilibrio simplificado.

Entradas	=	Salidas	+/-	Variación de las reservas
Precipitación útil (UR) + filtración del agua superficial (Is)	=	Caudal de los manantiales + caudal básico de las corrientes superficiales (Qs) + bombeo(Qp)	+/-	Variación de las reservas (Δs)
UR + Is	=	(Qs + Qp)	+/-	(Δs)

Además, el equilibrio calculado puede contrastarse con una aproximación hidrogeológica: el caudal subterráneo calculado con la ecuación de Darcy (Q = KAi) debe corresponderse con el caudal filtrado que se calcula con el método del balance (+/- variaciones del stock).

Los pasos a seguir para poner en práctica estos métodos se presentan en el Anexo 6 y se da un ejemplo en la Figura 10.18.

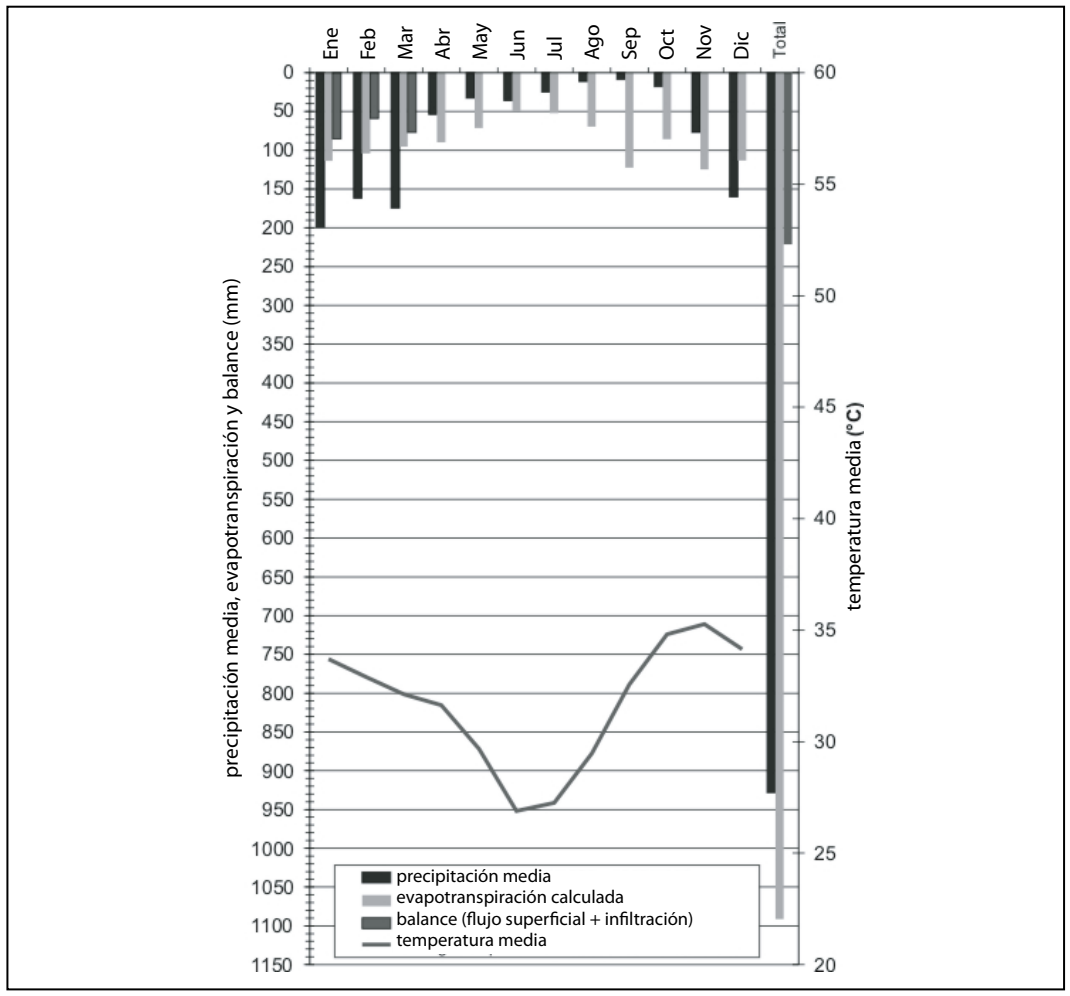


Figura 10.18: Equilibrio del agua en el distrito de Caia preparado por ACF (Mozambique, 2000) con datos locales y usando el método "aguas arriba". El cálculo se basa en el método Thornthwaite (ver Anexo 6) con medidas mensuales.

4 CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las aguas subterráneas tienen fama de ser de buena calidad para el consumo humano. El peligro de contaminación biológica y concretamente la microbiológica es bastante remoto. No obstante, la posible presencia de alguna toxicidad debida a minerales disueltos (contaminación natural por arsénico o fluoruros) puede dar lugar a problemas crónicos de salud. Allí donde exista este tipo de riesgo natural de contaminación, el agua de lluvia o las aguas superficiales son alternativas válidas para el suministro. El agua subterránea es menos proclive, en términos generales, a varios tipos de contaminación que el agua de superficie (excepto en entornos de fracturas y karsts). Los tipos de análisis de agua y sus interpretaciones, así como las medidas a tomar para la protección de las aguas subterráneas se indican en el Capítulo V y el Anexo 10.

Aspectos sanitarios

Los elementos básicos (iones principales), así como algunos oligoelementos (hierro, zinc, cobre, manganeso, etc.) se consideran importantes a efectos sanitarios para el hombre. El agua subterránea puede suministrar la cantidad diaria esencial de algunos de estos elementos, pero una dieta variada y equilibrada es la mejor manera de asegurar la ingestión de la cantidad adecuada.

Hay elementos tóxicos que pueden causar problemas agudos de salud si se toman en concentraciones elevadas, o pueden causar enfermedades crónicas si el consumo se realiza a bajos niveles durante períodos largos de tiempo. Las recomendaciones y regulaciones sobre la calidad del agua potable (p.ej. las recomendaciones de la OMS y las especificaciones nacionales) se han desarrollado en base a los riesgos para la salud conocidos o estimados.

Excepto para el caso de la contaminación agrícola (pesticidas, fertilizantes o estiércol) la contaminación química de las aguas subterráneas se debe generalmente a una causa natural, y viene propiciada por la interacción del agua con las rocas (percolando y disolviendo). Esta interacción puede causar una mineralización excesiva o crear problemas de rechazo (p.ej. en los casos de conductividad excesiva o concentraciones elevadas de hierro) por parte de la población de un punto de agua que por otra parte podría ser perfectamente aceptable desde el punto de vista sanitario. De todos modos, el principal problema sigue siendo la contaminación biológica del agua.

Identidad química del agua

El análisis de los elementos químicos más relevantes existentes en un tipo de agua permite su caracterización y clasificación. Comparando varios análisis es posible identificar la identidad química correspondiente a diversos sistemas de acuíferos. Es posible, por tanto, diferenciar varios tipos de agua, como ha sido el caso en numerosos estudios llevados a cabo en África occidental en aguas sobre basamento cristalino o roca dura.

La Tabla 10.VI proporciona valores promedio de algunos parámetros seleccionados correspondientes a varios tipos de acuíferos en África Occidental y la Tabla 10.VII recoge el resumen del control del agua realizado por ACF en Uganda.

Tabla 10.VI: Calidad del agua sobre roca base (Universidad de Avignon 1990).

Calidad	Acuífero	pH	Conductividad (µS/cm)	Mineralización (mg/l)
Media	Grava de granito	7,2	125	122
	Grava de esquisto	7,6	172	165
Inferior	Esquisto fisurado	7,9	404	326
	Granito fisurado	6,6	380	386
	Arenisca vieja	6,9	190	251

Tabla 10.VII: Calidad del agua sobre roca base. Valores anuales promedio 1996-1998 (ACF Uganda).

Punto de agua	Calidad	Acuífero	Conductividad (µS/cm)	Temperatura (ºC)
Sondeos (40)	Media/baja	Arenas granito/gneiss	180 – 400	24 – 26
Manantiales (5)	Superior	Productos de descomposición	100 – 130	24 – 27

El análisis de los isótopos intrínsecos del agua (deuterio ^{2}H y oxígeno ^{18}O) junto con el isótopo estable ^{13}C permite averiguar el origen del agua. Analizando los isótopos radiactivos (^{3}H y ^{14}C) se averigua la edad del agua (tiempo de tránsito).

Los programas humanitarios se ven confrontados a veces con problemas complejos sobre la calidad del agua. El análisis químico (elementos principales, oligoelementos, minerales tóxicos) es una herramienta necesaria para el conocimiento del contexto hidrogeológico. A veces, la ayuda de un laboratorio externo es indispensable.

CAPÍTULO XI

Prospección de aguas subterráneas

1 Consideraciones a tener en cuenta por el operador 218
2 Actuaciones preliminares 219
2.1 Información disponible 219
2.2 Cartografía 219
2.3 Imágenes de satélite 220
2.4 Foto-interpretación 220
3 Estudio de campo 222
3.1 La visita preliminar 222
3.2 Reuniones técnicas 222
3.3 Investigaciones adicionales 223
4 Métodos hidro-geofísicos 223
4.1 Introducción a los métodos 223
4.1.1 El principio 224
4.1.2 La elección de métodos 224
4.1.3 Procedimientos geofísicos 226
4.2 El método de la resistividad eléctrica 227
4.2.1 El principio 227
4.2.2 Medidas 228
4.2.3 El método en la práctica 231
4.2.3.1 Equipo y personal 231
4.2.3.2 Restricciones 232
4.2.3.3 Sondeos eléctricos verticales (VES) 232
4.2.3.4 Prospección cuadrada 238
4.2.3.5 Perfil de resistividades (RP) 240
4.2.3.6 Representación de la resistividad eléctrica (ERI) 241
4.2.3.7 Registro eléctrico de un sondeo (BEL) 244
4.3 Métodos electromagnéticos 246
4.3.1 Principio 246
4.3.2 Medidas 246
4.3.3 El método VLF 247
4.3.4 El método Slingram 251
4.3.5 Prospecciones TDEM 253
4.4 Prospección por Resonancia Magnética 254
4.4.1 Principio del método 254
4.4.2 Realización de medidas 256
4.4.3 Interpretación 257
5 Procedimientos de prospección 263
5.1 Sondeos exploratorios 263
5.2 Evaluación de los recursos hídricos 263
5.3 Archivo de los resultados y métodos analíticos 263
5.4 Procedimientos de prospección 263
5.4.1 Cuestiones hidrogeológicas 264
5.4.2 Elección del (de los) método(s) geofísico(s) 266
5.4.3 Aplicaciones de los métodos geofísicos 267
5.4.4 Propuesta de un procedimiento hidrogeofísico 271
6 Ejemplos de campo: implementación de sondeos en sedimentos no consolidados 274
6.1 Antecedentes 274
6.1.1 Entorno físico 275
6.1.2 Entorno humano y cobertura de agua potable 275
6.1.3 Entorno hidrogeológico 275
6.1.4 Metodología estudio-ensayos 276
6.2 Ejemplo de resultados 277
6.2.1 Un pozo perforado de alto rendimiento: escuela ACPI 277
6.2.2 Ejemplo de un lugar heterogéneo: aldea Mukpen 279
6.3 Discusión 281
6.3.1 Análisis técnico 281
6.3.2 Análisis de costes 282
6.3.3 Conclusión: Metodología de implementación de la geofísica 283
7 Ejemplos de campo: caracterización de acuíferos en rocas cristalinas de base 284
7.1 Antecedentes 284
7.1.1 Acuíferos en roca base cristalina 284
7.1.2 Equipo y métodos 284
7.2 Principales resultados 285
7.2.1 Tipología del yacimiento 285
7.2.2 Geometría del yacimiento 285
7.2.3 Parámetros hidráulicos del yacimiento 286
7.2.4 Mejoras en la caracterización de un acuífero 287
7.2.5 Principales factores limitantes 288
7.3 Conclusión 288
8 Ejemplos de campo: localización de acuíferos kársticos saturados 289
8.1 Fundamentos 289
8.1.1 Entorno físico 289
8.1.2 Objetivo del estudio y metodología 290
8.2 Ejemplo de terreno 291
8.2.1 Localización por MRS de un karst saturado 291
8.2.2 Estimación de la estructura karst con el ERI 293
8.3 Conclusión 293

El éxito de un pozo perforado o excavado depende en gran medida de cómo y dónde se ha construido.

La prospección de aguas subterráneas es un proceso que conduce a la comprensión de la naturaleza y de la dinámica de los recursos de agua. Este proceso consta de una serie de pasos, realizados con ayuda de varias herramientas, que permiten al operador de la prospección optimizar el pozo perforado o excavado y estimar la vida útil de los recursos de aguas subterráneas.

1 CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA POR EL OPERADOR

Las principales cuestiones a considerar por el "técnico ACF" se relacionan a continuación:

– Geometría del acuífero:

• Estimación de las profundidades y del área superficial de los acuíferos.

• Determinación de la naturaleza de los estratos circundantes (impermeables o permeables).

• Definición del nivel estático de agua no confinada.

– Almacenamiento de agua:

• Estimación de la cantidad de agua almacenada (porosidad de drenaje o coeficiente de almacenamiento).

• Estimación de la calidad del agua.

– Características del caudal de agua:

• Estimación del coeficiente de permeabilidad.

• Estimación de la transmisividad y de un rendimiento teórico de explotación.

– Vida útil del recurso:

• Estimación del potencial de explotación a lo largo de varias escalas de tiempo.

• Estimación de la vulnerabilidad del recurso en términos de calidad del agua.

– Equipamiento de los pozos perforados:

• Localización de las zonas productivas antes de instalar el equipo.

Tabla 11.I: Procedimiento general de prospección.

Fases	Objetivos	Principales herramientas
Estudio preliminar	- aceptar o rechazar el agua subterránea como suministro de la población - determinar las soluciones técnicas necesarias para satisfacer los requisitos locales respecto al agua	- análisis de datos disponibles - mapas - imágenes de satélite - estudio de campo
Estudio de construcción	- confirmar la validez del acuífero seleccionado - decidir la localización exacta del pozo perforado o excavado	- foto-interpretación - geología y geomorfología del área en estudio - geofísica - piezometría - hidroquímica
Construcción de pozos perforados o excavados		
Evaluación del recurso	- simular el comportamiento del pozo perforado a lo largo del tiempo - estimar la cantidad de agua en el acuífero	- test de bombeo - piezometría - balance hidráulico - modelo hidrodinámico
Procedimientos de perfeccionamiento	- evaluar las hipótesis de partida a la luz de los resultados obtenidos	- utilizar todos las herramientas que hayan demostrado su utilidad

El procedimiento a seguir para responder a estas cuestiones consta de una serie de pasos o fases que pueden llevarse a cabo de forma gradual (Tabla 11.I) y pueden interrumpirse en caso de algún fallo.

El procedimiento de prospección a usar en cada caso depende del contexto hidrogeológico. Por ello es necesario que en primer lugar se identifique la naturaleza del sistema en cuestión antes de determinar qué métodos de búsqueda se han de aplicar y escoger las herramientas de investigación más adecuadas.

2 ACTUACIONES PRELIMINARES

Independientemente del contexto geológico y del procedimiento de prospección previsto, se pueden llevar a cabo rápidamente unas cuantas acciones sencillas que permitirán aceptar o rechazar el agua subterránea como opción de suministro y que además podrán ayudar a identificar las soluciones técnicas que deban adoptarse. El objetivo en estos momentos es el de tomar una decisión y preparar un presupuesto inicial.

2.1 Información disponible

En situaciones complejas y de cierta urgencia, el estudio del lugar a perforar debe empezar con la recopilación y organización de la información existente. Esta información puede estar disponible a nivel local o en instituciones nacionales, en otras ONG y universidades; y también a nivel internacional, en la ONU, universidades, centros de investigación geológica, etc. Las principales cuestiones que se pueden responder de esta manera se resumen en la Tabla 11.II.

Tabla 11.II: Principales cuestiones preliminares.

Tipo de formación geológica	aluvial, cuenca sedimentaria, zona de roca base, etc.
Datos climáticos	promedios mensuales de precipitaciones y temperaturas
Existencia de aguas subterráneas	profundidad media, rendimiento de las instalaciones existentes
Posibles soluciones técnicas	pozos excavados o perforados técnicas de construcción promedio de profundidad y diámetro métodos rutinarios de localización y construcción
Costes / recursos	técnicos humanos logística

2.2 Cartografía

Los mapas topográficos y geológicos muestran las principales características de la zona en estudio a nivel regional, incluso si las escalas son a menudo demasiado pequeñas para dar una imagen bien detallada.

La Figura 11.1 muestra un extracto de un mapa geológico de la región de Choluteca en Honduras (del *Mapa Geológico de Honduras,* M.J. Kozuch, 1991) donde ACF planificó un programa de perforación de pozos. A pesar de su escala pequeña (1:500 000), este mapa revela:

– el contacto entre los sedimentos no consolidados (cuaternario) y las rocas volcánicas consolidadas (terciario);

– las direcciones principales de los lineamientos (N 45° y N 330°);

– el relieve;

– la red hidrográfica (sobre el mapa topográfico de la región, el curso lineal del río Choluteca indica también una formación consolidada y fracturada).

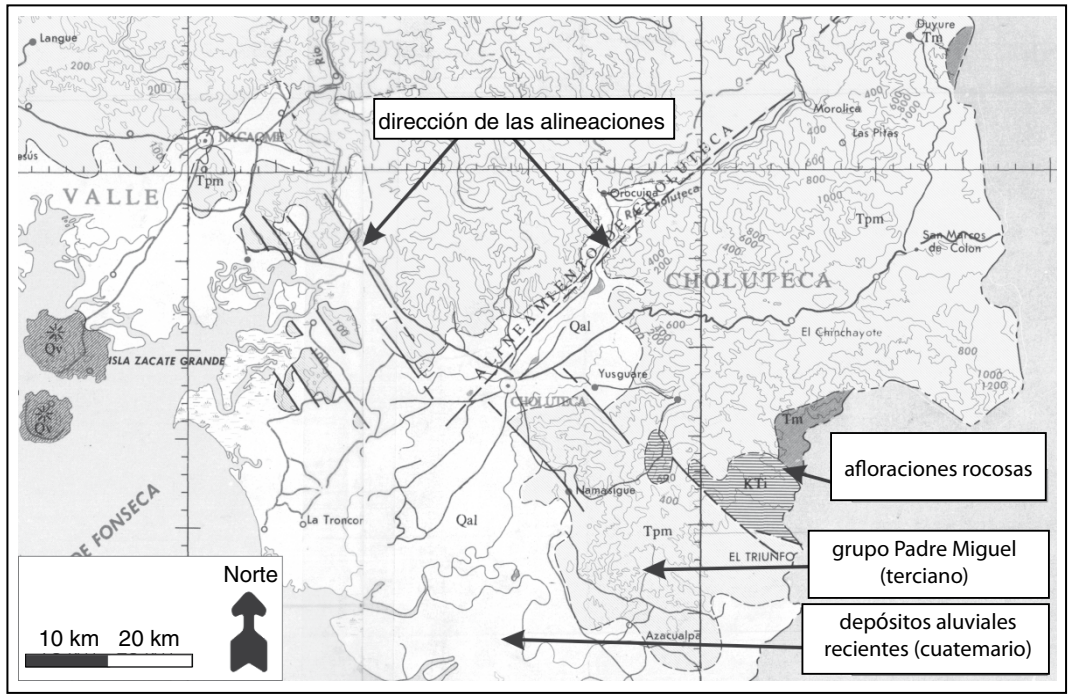


Figura 11.1: Mapa geológico del sur de Honduras.

2.3 Imágenes de satélite

El análisis de las imágenes de satélite se refiere generalmente a cuestiones sobre la vegetación, parámetros estructurales y la geomorfología. La figura 11.2 muestra un extracto de una imagen SPOT de la ciudad de Choluteca en Honduras. La información que contiene complementa a la obtenida del mapa geológico (Fig. 11.1):

– los contrastes en el recubrimiento vegetal son indicativos de áreas geológicas/pedológicas distintas, zonas húmedas y zonas más secas (aluviones y depósitos recientes, rocas volcánicas en el grupo Padre Miguel);

– se pueden ver claramente lineamientos de varios kilómetros de longitud a través de la red hidrográfica (se pueden ver también en los mapas topográficos);

– las redes de drenaje (concentración de agua de escorrentía) y las zonas de escorrentía (pendientes) son también claramente visibles en la topografía.

2.4 Foto-interpretación

La interpretación de fotos aéreas se basa en el análisis de las formas del relieve identificadas directamente por imágenes estereoscópicas o, indirectamente, estudiando la red hidrográfica y la variación de los niveles de contraste en la fotografía.

– La información más útil en una zona de rocas duras es aquélla que hace referencia a la fractura y erosión, que son señales de la posible presencia de zonas de circulación preferente de agua.

- La red hidrográfica a menudo se superpone a la red de fracturas: imágenes estereoscópicas de esta red pueden dar por tanto información estructural. En términos generales, una red hidrográfica densa y con muchas ramificaciones es consecuencia de un terreno impermeable. En una zona de basamento cristalino, esto suele significar que los productos resultantes de la erosión son abundantes y arcillosos. Por otra parte, un patrón hidrográfico lineal indica una zona fracturada, que puede haber sufrido poca erosión.

- Los lineamientos no siempre están alineados con la red hidrográfica: pueden encontrarse en un terreno que cruce el relieve o la vegetación.
- Los lineamientos identificados se deben estudiar a la luz de su dirección: la mejor elección son aquellas direcciones donde las fracturas se sabe que están abiertas, o a veces los puntos de intersección de dos lineamientos (nodos).
- En zonas de roca base, las fotografías aéreas se pueden usar también para distinguir zonas preferenciales de infiltración (tierras bajas, oued) de zonas de escorrentía (red hidrográfica).

– En las zonas sedimentarias no consolidadas, la información requerida es distinta. Los puntos clave a identificar son:

- las unidades geológicas, indicadas por la vegetación y el relieve;
- las áreas inundables y las que están bien drenadas;
- la red hidrográfica, cuyos caminos originales (paleocanales) a veces son claramente visibles: son lugares muy favorables para ubicar pozos.

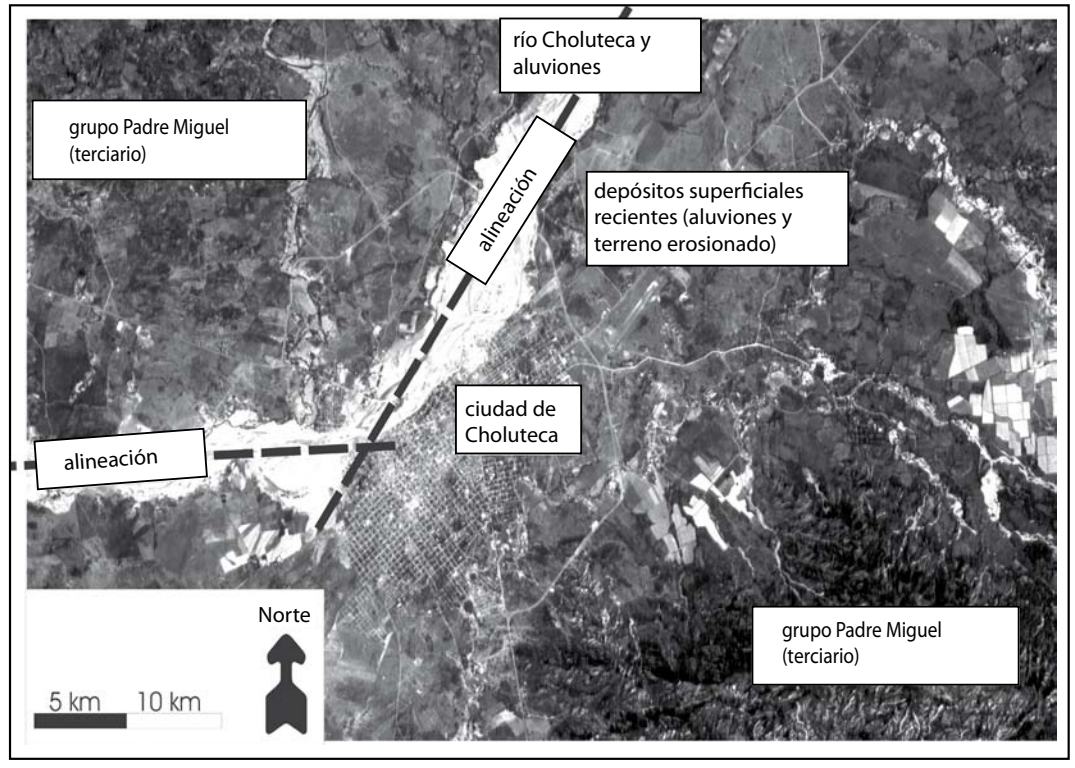


Figura 11.2: Extracto de una imagen (30/11/1998) SPOT (KJ 615-323) centrado en la ciudad de Choluteca, Honduras.

La figura 11.3 muestra un análisis estructural realizado con fotos aéreas del Campo Marcelinot Champagnat (al nordeste de la imagen satélite mostrada en la Figura 11.2). El contexto geológico se compone de ignimbritas riolíticas terciarias (grupo Padre Miguel) recubiertas en la parte norte de la foto por aluviones cuaternarios y productos de erosión (coaluviones). El lineamiento N45º se corresponde con la dirección de una fractura regional principal señalada en el mapa geológico (Fig. 11.1) y en la imagen de satélite (Fig. 11.2). La perforación realizada en esta estructura tuvo un rendimiento de 82 m^3/h para una profundidad total de 32 metros, mientras que las perforaciones previas realizadas fuera de las zonas de fractura tuvieron rendimientos muy inferiores a mayores profundidades (6,5 y 3,5 m^3/h para 55 y 96 metros de profundidad respectivamente).

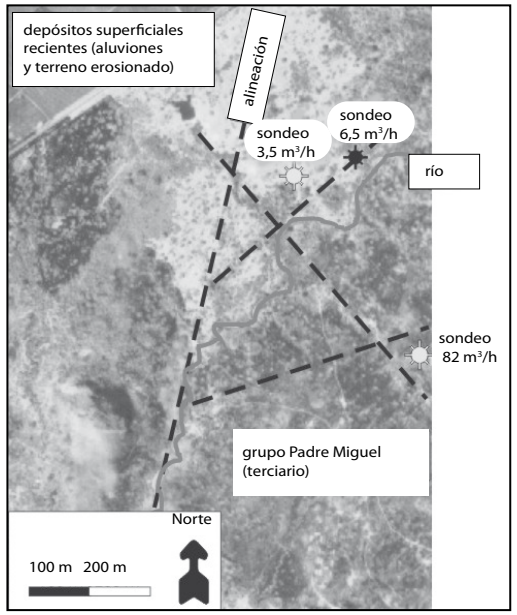


Figura 11.3: Foto aérea, Marcelinot Champagnat, región de Choluteca, Honduras (ACF, 2000).

3 ESTUDIO DE CAMPO

Todos los análisis llevados a cabo en la oficina deberían tener continuidad en el terreno. En la práctica, el proceso es iterativo entre la recogida de datos en el terreno y su análisis en la oficina.

3.1 La visita preliminar

Es esencial visitar el terreno y conocer a las autoridades (tradicionales y/o administrativas) y a la población local. Tras las presentaciones, se busca la información necesaria para comprender la situación: esto se lleva a cabo observando, escuchando, preguntando sin sugerir las respuestas, reformulando preguntas, etc. Se requiere la comprensión de un abanico de factores, incluyendo los elementos humanos y técnicos (ver Capítulo II):

– el contexto climático: precipitaciones, patrones estacionales de lluvias, temperatura, viento, etc.;

– el contexto geológico: afloramientos, inclinaciones, direcciones de las fracturas identificadas, perfiles observados en los pozos, etc.;

– el contexto geomorfológico: relieve, red hidrográfica, zonas potencialmente de infiltración, zonas inundables;

– el contexto hidrogeológico: estado de los recursos hídricos existentes: limpieza, durabilidad, medida de los niveles estático y dinámico, estimación de los rendimientos, localización de pozos/sondeos positivos y negativos, calidad del agua (medidas de conductividad), observaciones "especiales" tales como la alineación de termiteros en alguna dirección, la asociación de algunos árboles con puntos de agua existentes, las posiciones de los puntos de agua más productivos en relación con la geomorfología del terreno, con la red hidrográfica, etc.

Los resultados de esta visita preliminar ser pueden resumir gráficamente sobre mapas o imágenes digitales de satélite (p.ej.: usando un programa SIG).

3.2 Reuniones técnicas

En este punto de la investigación, se han de tener reuniones con los departamentos técnicos de organizaciones empresariales, regionales, nacionales y de otras organizaciones relevantes para completar la información obtenida durante la visita preliminar: informes de las perforaciones, test de bombeo, hidroquímica, etc.

El diálogo con la población local es esencial: los habitantes de la zona cuentan con gran cantidad de conocimiento al respecto y saben qué es lo que se ha intentado y si ha funcionado o no.

3.3 Investigaciones adicionales

Una vez identificados los acuíferos potenciales, el paso siguiente consiste en determinar en el terreno los lugares exactos donde se perforarán o excavarán los pozos.

Las estructuras existentes se han de visitar de forma sistemática para medir las profundidades totales, los niveles estáticos y dinámicos, y la producción (relación producción/descenso del nivel de agua). La medida de la conductividad del agua en cada estructura y en el agua superficial puede indicar el grado de vinculación entre las zonas de aguas subterráneas (¿hay un único acuífero homogéneo, o varios sistemas aislados?). La conductividad puede revelar también si hay problemas de mineralización excesiva del agua, o de salinidad.

La topografía y la cubierta vegetal pueden usarse para identificar zonas de infiltración o de escorrentía.

En zonas de rocas duras, los lugares seleccionados por inspección de fotos aéreas deben visitarse para verificar la presencia de lineamientos. Un lineamiento identificado en una foto o en una imagen de satélite puede resultar ser un camino forestal o una zanja, sin potencial alguno de tener agua. En el terreno deben observarse todas las señales que confirmen la presencia de alguna anomalía: alineaciones de termiteros o árboles grandes, cambios de vegetación, afloramientos,...

En zonas aluviales, deben estimarse las interacciones aguas subterráneas-río (suministro/drenaje/arenamiento) (ver Capítulo X).

4 MÉTODOS HIDRO-GEOFÍSICOS

Los métodos geofísicos pueden aplicarse a la hidrogeología (métodos hidro-geofísicos). Pueden ser útiles en algunas fases del proceso hidrogeológico para responder a cuestiones sobre la geología local. Estas cuestiones son específicas al contexto del estudio, aunque se pueden agrupar en función de la tipología del acuífero y clasificarse en dos categorías: la primera se refiere a la geometría del acuífero; la segunda concierne a los parámetros que describen el almacenamiento y las características del caudal. Allí donde la salinidad del agua subterránea tenga relevancia, el operador de la prospección puede requerir que se mida la conductividad eléctrica.

Entre 2000 y 2003, ACF llevó a cabo un programa de investigación y desarrollo para evaluar la idoneidad de los métodos geofísicos en la caracterización de los acuíferos en los principales tipos de formaciones geológicas (formaciones no consolidadas, zonas de formaciones consolidadas y rocas carbonatadas). Este trabajo incluyó, notablemente, un estudio del nuevo método "MRS", cuyos resultados más relevantes se presentan en este capítulo (Vouillamoz, 2003).

4.1 Introducción a los métodos

Nomenclatura utilizada:

Direct Current methods	DC method *(Métodos basados en corriente continua)*
Resistivity Profiling	RP *(Perfil de resistividades)*
Vertical Electrical Sounding	VES *(Sondeo eléctrico vertical)*
Electrical Resistivity Imagery	ERI *(Imágenes 2D de resistividad eléctrica)*
Spontaneous Potencial	SP *(Potencial espontáneo)*
Electromagnetic methods	EM method *(Métodos electromagnéticos)*
Very Low Frequency	VLF *(Muy baja frecuencia)*
Time Domain Electromagnetic	TDEM *(Electromagnetismo en dominio temporal)*
Magnetic Resonance Sounding	MRS method *(Resonancia magnética protónica)*
Borehole Electrical Logging	BEL *(Diagrafía eléctrica del pozo perforado)*
Transmitter	Tx *(Transmisor)*
Receiver	Rx *(Receptor)*

4.1.1 EL PRINCIPIO

Los métodos hidro-geofísicos miden las variaciones espaciales y temporales en las propiedades físicas de las rocas del subsuelo. Las propiedades físicas estudiadas se ven afectadas por la naturaleza del acuífero, el volumen del espacio vacío que contienen (su porosidad) y el volumen, grado de saturación y características del agua contenida.

– Usando todos los métodos geofísicos tradicionales se puede observar que el agua subterránea influye sólo en algunos de los parámetros medidos, pero no es el único factor que influye. Las magnitudes físicas medidas por el operador geofísico no permiten la determinación directa de la presencia de agua subterránea ni de su calidad, pero en los casos más favorables proporcionarán una idea sobre la naturaleza y estructura de los acuíferos que puedan existir.

– En comparación con los métodos tradicionales, se puede clasificar a la prospección por resonancia magnética (MRS) como un método geofísico directo, ya que mide una señal emitida por los núcleos atómicos de cada molécula de agua. La contribución de MRS a la hidrogeología consiste en la habilidad de medir directamente una señal indicadora de la presencia de agua subterránea.

De entre los numerosos métodos geofísicos usados en hidrogeología, ACF ha seleccionado tres, basados en los requisitos particulares de los programas humanitarios:

– el método de referencia es la medida de la resistividad eléctrica, ya que se puede usar en un amplio abanico de contextos y puede dar datos bidimensionales;

– métodos electromagnéticos, especialmente el método VLF, el método Slingram y la prospección TDEM son más simples de usar que las medidas de resistividad eléctrica pero son menos versátiles;

– el MRS es bastante difícil de usar, pero es el único método que proporciona información directa de la existencia de agua subterránea.

Por último, hay que resaltar que cualquiera que sea el método geofísico usado, la validez del estudio depende de la calidad de las medidas hechas en el campo y del número y variedad de otras observaciones y análisis complementarios llevados a cabo.

4.1.2 LA ELECCIÓN DE MÉTODOS

La elección de los métodos geofísicos depende del contexto geológico en cuestión y de la información requerida. El método, o la combinación de métodos usados deben formar parte de un procedimiento global de prospección, cuya determinación se presenta en la sección 5. Los criterios principales de elección son los siguientes.

La naturaleza de la fuente de agua buscada

Ha de dar una respuesta claramente detectable de la magnitud medida en el experimento, que a su vez dependerá de las propiedades físicas del volumen bajo estudio (Tabla 11.III). Por ejemplo, el agua subterránea aluvial tiende a generar señales de relajación magnética protónica que se pueden detectar por MRS. También, variaciones de salinidad del agua subterránea pueden causar variaciones en la resistividad eléctrica que se pueden detectar por análisis TDEM. La Tabla 11.III muestra claramente que solamente el MRS mide parámetros geofísicos directamente relacionados con las aguas subterráneas.

Tabla 11.III: Principales métodos geofísicos usados en hidrogeología (se muestran entre paréntesis las propiedades cuyos efectos son secundarios), de Kearey y Brooks 1984 (modificado).

Método	Parámetro geofísico medido	Propiedad física operativa	Influencia del agua subterránea
Eléctrico	Diferencia de potencial debido a corrientes eléctricas	Resistividad eléctrica	Indirecta
Electromagnético	Señales electromagnéticas debidas a la inducción	Conductividad eléctrica (susceptibilidad magnética y permisividad dieléctrica)	Indirecta
MRS	Señal de relajación magnética de protones en el agua	Momento spin y magnético de los núcleos de hidrógeno	Directa

La precisión requerida

No puede exceder la resolución del método, o más concretamente la del equipo utilizado. La precisión determina la capacidad de un método para detectar y caracterizar una reserva de agua. Es una función de la sensibilidad del aparato, que sólo está limitada por la sensibilidad del equipo usado y por las condiciones de medida (relación señal-ruido). No es posible por tanto dar una resolución estándar para cada método. En vez de ello, se suele dar un rango típico de profundidades de resolución para cada método hidrológico (Fig. 11.4).

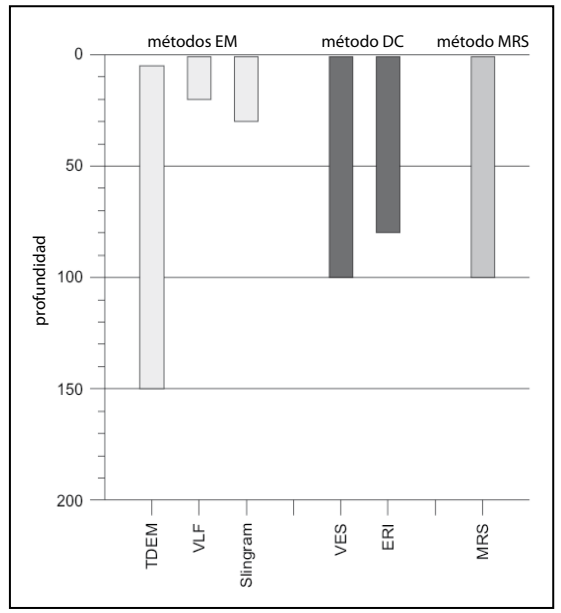


Figura 11.4: Profundidades típicas de prospección según los métodos y equipos usados por ACF.

La escala del estudio

Determina un marco para la aplicación práctica del método, que requiere desplegar equipos en terreno. Cada tipo de equipo tiene su modo operativo particular y puede desenvolverse en varias configuraciones, dependiendo del tipo de información que se busque. La Tabla 11.IV recoge todas las diferentes posibilidades y presenta las aplicaciones principales de los aparatos más usados por ACF.

Coste

Conviene considerarlo como el impacto del uso de un determinado método geofísico en el coste total del proyecto. Así, hay dos factores principales que se deben evaluar: por una parte, el coste de la realización de las medidas y, por otra parte, los ahorros que ha generado su uso gracias a la reducción del número de pozos negativos. Conociendo el coste de los estudios geofísicos y el de un pozo perforado negativo calculado con la misma base, se pueden definir los campos económicos de aplicación de cada método o combinación de métodos. La relación se puede escribir:

$$r \cdot bh = r \cdot bh^{+} + (1 - r) \cdot bh^{-} + \rho$$

$$bh = bh^{+} \frac{1 - r}{r} \cdot bh^{-} + \frac{\rho}{r}$$

donde r es el porcentaje de éxito del pozo (%), bh el coste promedio de un pozo productivo, bh+ el coste promedio de un pozo positivo, bh- el coste promedio de un pozo negativo y ρ el coste promedio de los estudios geofísicos por pozo. Estudios geofísicos sistemáticos ahorrarán dinero en el programa si:

$$\rho \leq bh^{-} \cdot \left[\frac{r_{\rho}}{r} - 1 \right]$$

donde r es el porcentaje de éxito en los pozos perforados sin estudios geofísicos, y r_{ρ} el porcentaje de éxitos en los pozos perforados con estudios geofísicos. Estos porcentajes se pueden estimar con la experiencia de la población local o con los programas previos de ACF.

Sin embargo, la evaluación del coste de programas en sí no basta para decidir qué acciones se deben tomar en un programa de ACF. Los cálculos no tienen en cuenta el hecho de que los estudios geofísicos permiten a menudo perforar pozos positivos en zonas difíciles en las que los requerimientos de agua de la población son substanciales. El objetivo de ACF consiste en responder a las necesidades de poblaciones vulnerables, aunque no parezca justificable "económicamente".

Tabla 11.IV: Métodos geofísicos típicos y ámbitos de aplicación hidrogeológica.

Método	Selección	Aplicación	Ámbito de uso
Métodos DC	RP (Línea simple y doble)	Estudio preliminar: Perfil de resistividad interpretación cualitativa unidimensional	Todo tipo de formaciones, posibles dificultades en la implantación de electrodos y en asegurar buen contacto electrodo -tierra
	VES (Schlumberger, Wenner, polo-dipolo; polo-polo)	Estudio complementario: Registro de resistividad interpretación cuantitativa unidimensional	
	Sondeos multidireccionales	Estudio complementario: Registro direccional de la resistividad, interpretación cualitativa bi -tridimensional	Limitación en la profundidad sondeada si la superficie es muy conductora (arcilla, agua salada)
	ERI (Wenner, polo-polo, polo-dipolo, dipolo-dipolo)	Estudio complementario: sección de resistividad interpretación cuantitativa bidimensional	
Método EM	VLF (polo-dipolo, dipolo-dipolo)	Estudio preliminar: perfil y mapa de isorresistividad, interpretación cualitativa uni y bidimensional	Todo tipo de formaciones excepto las de alta resistividad
	Slingram (multi-frecuencia)	Estudio preliminar: perfil y mapa de isoconductividad, interpretación cualitativa uni y bidimensional	Profundidad limitada en los sondeos si la superficie es muy conductora para VLF y Slingram
	Sondeos TDEM	Estudio preliminar y complementario: registro de resistividad, interpretación cuantitativa unidimensional	
MRS	Sondeos 1D	Estudio complementario: interpretación cualitativa unidimensional o cuantitativa si está calibrado (registro de almacenamiento y conductividad hidráulica)	Formaciones continuas Imposible en presencia de rocas magnéticas

4.1.3 PROCEDIMIENTOS GEOFÍSICOS

Usando los criterios para la elección de métodos junto con la experiencia de ACF, se pueden establecer procedimientos geofísicos estándar. Sin embargo, estos procedimientos deben formar parte de una estrategia de investigación hidrogeológica, cuya concepción se explica en la Sección 5. Estos procedimientos estándar son en realidad sugerencias, susceptibles de modificación según convenga (Tabla 11.V). Algunos ejemplos de casos reales se dan más adelante en el presente capítulo.

Tabla 11.V: Procedimientos geofísicos estándar.

FORMACIÓN	Continua (sedimentaria no-consolidada)	Cartografía de la resistividad EM, VLF o Slingram	Delimitación de dominios hidrogeológicos Caracterización de la capa adyacente (contenido arcilloso)
		VES si la formación es bastante aislante, TDEM si la formación es bastante conductora	Descripción unidimensional de las estructuras Estimación de la mineralización del agua
		ERI	Descripción bidimensional de las estructuras Estimación de la mineralización del agua
		MRS	Confirmación de la presencia de agua subterránea. Caracterización del almacenamiento y de la permeabilidad del yacimiento
		BEL	Localización de zonas productivas. Elección del equipo de perforación para el pozo
	Discontinua (roca dura, formacion consolidada)	Resistividad Slingram o perfil RP	Estimación del espesor y naturaleza de la meteorización
		VES (ocasionalmente TDEM)	Descripción unidimensional de las estructuras
		ERI	Descripción bidimensional de las estructuras
		MRS	Confirmación de la presencia de agua subterránea. Caracterización de la almacenabilidad y transmisividad de los acuíferos
		BEL	Localización de zonas productivas Elección del equipo de perforación para el pozo
	Kárstica	Cartografía de la resistividad EM, VLF o Slingram	Caracterización de suelos, contenido de arcilla. Indicación de fracturas poco profundas
		ERI	Estimación bidimensional de estructuras
		MRS	Localización de zonas saturadas (patrones de disolución epikársticos y poco profundos)

4.2 El método de la resistividad eléctrica

Con el fin de agilizar la lectura, no se indican las referencias científicas usadas en la sección que sigue, pero se pueden hallar en la lista de referencias.

4.2.1 EL PRINCIPIO

El principio consiste en inyectar un flujo de corriente continua en el suelo y usarla para medir la resistividad aparente de la formación. La naturaleza y la estructura de los acuíferos se deducen por las variaciones (contrastes) en la resistividad calculada.

La resistividad eléctrica de un medio es la propiedad física que determina su capacidad de oponerse al paso de una corriente eléctrica. En las rocas, el flujo de corriente debido al movimiento de electrones es escaso (algunas vetas minerales presentan conductividad 'electrónica' o 'metálica') y el transporte de cargas se debe esencialmente al movimiento de iones en solución (conductividad electrolítica). Por ello, cabe decir que la resistividad de las rocas depende esencialmente de:

- la naturaleza y estado de meteorización de la roca (distribución de electrolitos en el suelo);
- la concentración de agua (saturación de la roca con electrolitos);
- la calidad del agua (mineralización del electrolito);

– la temperatura (viscosidad del electrolito y movilidad de los iones).

El rango de valores de resistividad real encontrados generalmente en el campo se da en la Tabla 11.VI.

Tabla 11.VI: Resistividades encontradas en distintas formaciones.

Formaciones	Resistividad de formaciones saturadas[1] (Ωm)	Resistividad[2] (Ωm)
Arcillas	5 a 10	0,5 - 5
Arenas	50 a 400	40 a 300
Gravas	150 a 500	200 a 500
Esquistos cristalizados	100 a 10 000	
Gneis sólido		1 000 a 10 000
Gneis seco meteorizado		300 a 600
Gneis húmedo meteorizado		120 - 200
Granito sólido	100 a 50 000	1 000 a 10 000
Granito seco meteorizado		300 a 1 000
Granito húmedo meteorizado		100 - 300
Talco	100 a 10 000	50 - 300
Agua marina	< 0,2	
Agua subterránea salobre	< 1	
Agua dulce superficial	10 a 300	
Límite de potabilidad	2 a 6	

([1] según Meyer, 1991; [2] datos experimentales ACF)

4.2.2 MEDIDAS

Para medir la resistividad, se inyecta una corriente continua en el suelo por medio de dos electrodos **A** y **B** y la diferencia de potencial generada (ΔV) se mide entre dos electrodos **M** y **N** (Figura 11.5).

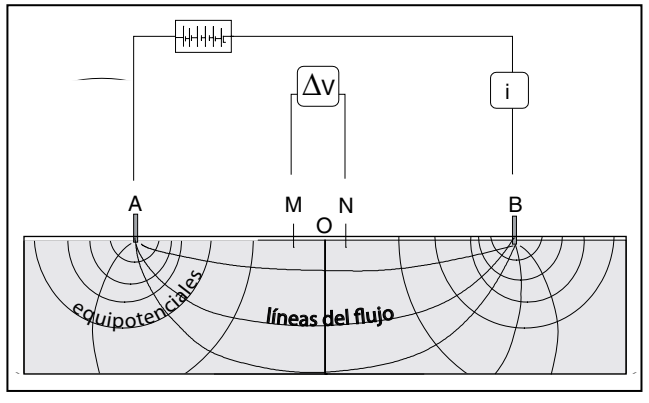


Figura 11.5: Principios de las mediciones eléctricas en geofísica.

Para calcular la resistividad eléctrica de la formación a través de la que pasa la corriente se usa la fórmula $\rho_a = K \cdot \Delta V_{MN}/I_{AB}$ en la que ρ_a es la resistividad aparente en ohmios-metro (Ωm), ΔV_{MN} es la diferencia de potencial en voltios (V), I_{AB} es la corriente directa en amperios (A) y K un factor geométrico tal que:

$$K = \frac{2\pi}{1/AM - 1/BM - 1/AN + 1/BN}$$

La resistividad ρ_a se llama "resistividad aparente", porque se corresponde con la resistividad de una serie de tipos de formaciones a través de las cuales fluye la corriente, que pueden ser distintas de las resistividades reales de cada uno de los tipos de formación. Éstas se calculan después, a partir de las resistividades aparentes, en la fase de análisis de datos del trabajo.

La profundidad de la penetración de las líneas de flujo de corriente (y consecuentemente la profundidad investigada) es una función de la separación de los electrodos A y B.

Hay cuatro tipos de medidas, cada uno de ellos asociado con un área particular de investigación:

– la prospección eléctrica vertical (VES) explora las capas de suelo que yacen entre los electrodos M y N. Puede medir por tanto la resistividad en función de la profundidad, aumentando progresivamente la distancia A – B (prospección unidimensional);

– el perfil de resistividades (RP) identifica el desarrollo horizontal (a profundidad constante) de un conjunto de formaciones a lo largo de un perfil. Posibilita por tanto medir variaciones en el espesor de una formación a lo largo de un perfil. El espesor de las formaciones testadas lo da la longitud AB, que se mantiene constante a lo largo de todo el perfil;

– las imágenes de la resistividad eléctrica (ERI) proporciona un perfil de resistividades medidas e interpretadas en dos dimensiones. Relaciona por tanto la información obtenida por la prospección (variación vertical) y por la transversal (variación horizontal);

– la prospección cuadrada indica anisotropía. Se puede así calcular el coeficiente y la dirección de anisotropía, así como la resistividad media.

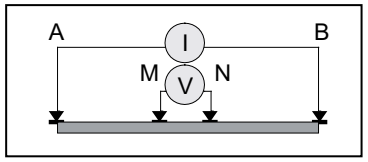


Figura 11.6: Configuración Schlumberger.

Las configuraciones de electrodos que se usan normalmente son:

La configuración Schlumberger, en la que los cuatro electrodos se disponen en línea de modo que AB > 5 MN (Figura 11.6), es la que se usa más frecuentemente para VES. Ofrece la ventaja, sobre el método Wenner, de tener que mover sólo dos electrodos (A y B) al tiempo que ofrece una buena profundidad de penetración.

La configuración de Wenner, en la que los cuatro electrodos se alinean de modo que AM = MN = NB (Figura 11.7), se usa ampliamente para la representación de la resistividad eléctrica (disposición simétrica).

La configuración polo-polo consiste en la colocación de dos electrodos (M y A) al infinito y moviendo únicamente B y N (Figura 11.8). Proporciona una relación señal-ruido elevada pudiéndose así conseguir una investigación a profundidades considerables y es más sensible a las anomalías verticales que en la configuración cuádruple.

La configuración polo-dipolo o configuración semi-Schlumberger puede usarse en VES y ERI. Haciendo dos mediciones 'invertidas' es posible obtener rápidamente información sobre la heterogeneidad de la formación (Figura 11.9).

La configuración cuadrada, con AB = MN = AM = BN (Figura 11.10), se usa preferentemente para llevar a cabo sondeos. Permite estimar la anisotropía; es importante notar que detecta las líneas de fractura, pero es difícil llevarla a cabo en el campo.

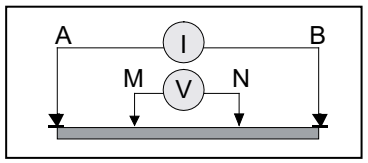


Figura 11.7: ConfiguraciónWenner.

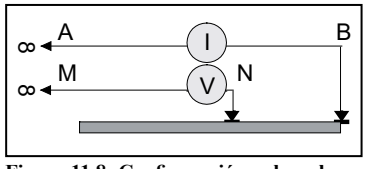


Figura 11.8: Configuración polo-polo.

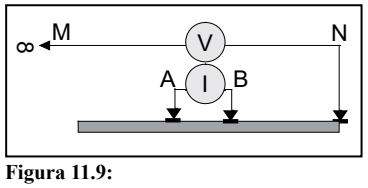


Figura 11.9: Configuración semi-Schlumberger.

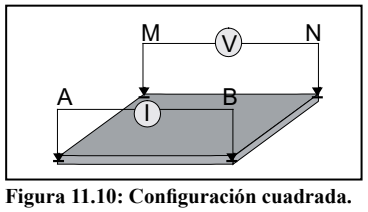


Figura 11.10: Configuración cuadrada.

Cuadro 11.1
La electricidad en geofísica.

Resistividad
La corriente que pasa a través de un conductor es igual al voltaje dividido por una constante, la resistencia. La ley de Ohm se expresa así:

$$V = RI$$

Donde V es el voltaje (voltios), R es la resistencia (ohmios), e I es la intensidad de la corriente (amperios). Esta ley es válida únicamente para la conducción metálica pero también se considera una aproximación aceptable para la conducción electrolítica.

La relación entre resistencia R y resistividad ρ es:

$$R = \rho \cdot L/S$$

Donde R es la resistencia (Ω), ρ es la resistividad (Ω·m), L es la longitud del conductor (m) y S su sección transversal (m2) (Figura 11.11).

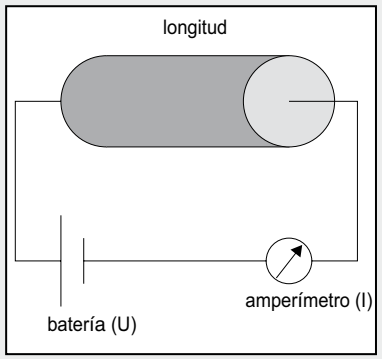


Figura 11.11: Resistividad, función de la geometría del conductor.

La mayoría de las rocas son isótropas: tienen la misma resistividad en todas las direcciones. Sin embargo, algunas, como las metamórficas, tienen estructuras orientadas y son lo suficientemente anisótropas como para invalidar esta simplificación.

Coeficiente geométrico K
Una corriente I pasando a través de un electrodo situado en un espacio isotrópico e infinito (Figura 11.12) crea un potencial V en el punto M tal que:

$$V_M = \rho \cdot I/4\pi r$$

En el espacio semi-infinito de un hemisferio definido por la superficie del suelo:

$$V_M = \rho \cdot I/2\pi r$$

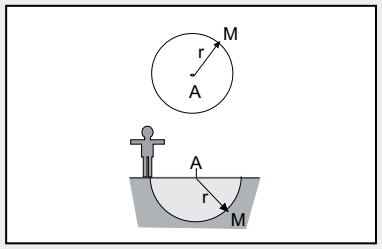


Figura 11.12: Espacios infinitos y semi-infinitos.

Si una corriente I pasa a través de dos electrodos A y B, se podrá medir la diferencia de potencial entre otros dos electrodos M y N debido a la acción conjunta de A y B, tal que:

$$V_M = V_A + V_B = \frac{\rho I}{2\pi AM} - \frac{\rho I}{2\pi BM} = \frac{\rho I}{2\pi} - \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM}\right)$$

$$V_N = V_A + V_B = \frac{\rho I}{2\pi}\left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN}\right)$$

$$\Delta V_{MN} = V_M - V_N = \frac{\rho I}{2\pi}\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}\right)$$

La resistividad se obtiene por tanto de:

$$\rho = \frac{\Delta V_{MN}}{I} K$$

Donde K es un coeficiente geométrico:

$$K = \frac{2\pi}{1/AM - 1/BM - 1/AN + 1/BN}$$

En todas estas configuraciones, el intercambio de las posiciones de los electrodos que inyectan la corriente, A-B, con los que detectan el potencial, M-N, no afecta en teoría a los resultados. Un buen espaciado de los electrodos de potencial da una señal de medida fuerte (ΔV): esto supone una ventaja en ambientes con poco ruido, en los que la relación señal-ruido será alta, pero será una desventaja en zonas ruidosas (corrientes secundarias, corrientes telúricas) donde el ruido se verá también magnificado.

4.2.3 EL MÉTODO EN LA PRÁCTICA

4.2.3.1 EQUIPO Y PERSONAL

ACF ha desarrollado un equipo adaptado a las condiciones particulares en las que opera: el medidor de resistividad Ωmega (Figura 11.13). Las instrucciones de uso se dan en el Anexo 8A. El método operativo consiste en la toma de medidas de forma sucesiva para diferentes espaciamientos de electrodos. Los registros de medidas dados en el Anexo 8B muestran valores de corriente, ΔV, y resistividad aparente (ρ_a) calculadas para cada punto de medición en el campo. Los valores para el coeficiente de geometría se han calculado con antelación de acuerdo con los procedimientos estándar propuestos. De todas formas se pueden modificar a la vista de los resultados y preparar una lista de valores adaptados a las condiciones locales. Es importante calcular valores de la resistividad aparente y trazar curvas directamente en el campo para verificar la consistencia de las medidas. Este equipo se usa para realizar medidas unidimensionales (prospecciones y perfiles).

Figura 11.13: Medidor de resistividad Ωmega (ACF, Camboya, 1998).

Las medidas en el campo se pueden realizar también con otros equipos. Concretamente, ACF ha usado de forma satisfactoria medidores de resistividad Syscal y sistemas multielectrodo de Iris Instruments (Figura 11.14). Con estos equipos, se pueden automatizar las mediciones, los valores de I, ΔV y ρ_a se registran en una memoria interna y la calidad de las medidas mejora considerablemente (mayor sensibilidad del voltímetro, corrección del potencial (SP) avanzada y espontánea, análisis de la dispersión de las medidas, etc.). A la vista de estas posibilidades, este equipo se adapta particularmente bien a mediciones bidimensionales (ERI).

Figura 11.14: Medidor de resistividad Syscal R1 (ACF, Mozambique, 2000).

Se necesita una brújula para determinar la dirección de las medidas, así como dos cintas métricas de 100 metros lo suficientemente resistentes para usarse en la determinación del espaciado de los electrodos.

Para llevar a cabo una prospección o un perfil, se han de situar unos veinte electrodos antes de tomar las medidas. Esto ayuda a evitar las corrientes inducidas creadas mientras se colocan los electrodos. Cuando se prepara una ERI, el número de electrodos necesarios depende de la longitud de la sección a medir y de la capacidad del equipo: normalmente se requieren 64, 72 ó 96 electrodos.

Un equipo de cinco personas puede llevar a cabo entre dos y diez sesiones de medidas por día, dependiendo de las restricciones locales: cuando por razones de seguridad se puede permanecer poco tiempo en el terreno, apenas si se pueden realizar dos medidas por día. El ingeniero debe definir los parámetros de las medidas e interpretar los resultados. Cuatro operadores se hacen cargo de la instalación de los electrodos y del espaciado de las bobinas.

4.2.3.2 RESTRICCIONES

Los estudios en el campo están limitados por la extensión de la zona a explorar: es por tanto esencial escoger una zona que sea potencialmente favorable en vez de intentar cubrir un sector muy amplio. Del mismo modo, es necesario intentar llevar a cabo estudios en un terreno de superficie relativamente plana, donde la vegetación y las construcciones no interfieran con la colocación de líneas A-B suficientemente largas (300 a 800 m). Se deben evitar también las zonas inundables y los períodos de lluvia intensa porque las medidas eléctricas se pueden ver alteradas bajo estas condiciones.

La naturaleza y espesor de los terrenos de recubrimiento suponen a veces factores limitantes en el uso de esta técnica. Formaciones superficiales conductoras requieren una potencia eléctrica de inyección significativa para permitir que la corriente penetre el terreno en profundidad. En este sentido, se ha visto que resistividades de 5 a 10 Ωm permiten la exploración a profundidades de 30 a 50 m. con el medidor de resistividad Ωmega en la disposición Schlumberger (ACF Camboya, 1998).

En cambio, en suelos de arenas no consolidadas es necesario mojar los puntos de contacto para mejorar el contacto y facilitar el paso de la corriente.

4.2.3.3 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (VES)

Implementación

Los sondeos Schlumberger se realizan separando progresivamente los electrodos A y B, sin cambiar los M y N**:** esto aumenta el volumen de terreno a través del cual pasa la mayor parte de la corriente, aumentando de este modo la profundidad de la investigación (Figura 11.15).

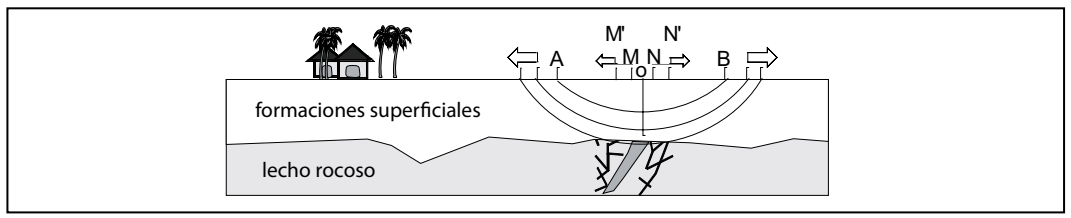


Figura 11.15: Implementación de Schlumberger VES.

Si se aumenta la profundidad de la investigación manteniendo constante la potencia eléctrica inyectada se originará un descenso progresivo del valor del ΔV medido. Para mantenerlo en un nivel aceptable (típicamente entre 1 y 5 mV) se tiene que aumentar la potencia inyectada. Cuando la potencia del medidor de resistividad ya no es suficiente para obtener valores de ΔV adecuados, se recurre a medidas solapadas. Esto consiste en aumentar la separación de los electrodos M y N, y medir ΔV sobre un volumen de tierra mayor. Los valores obtenidos se comparan con los registrados con el espaciamiento inicial. Es esencial llevar a cabo el solapamiento de un mínimo de dos puntos de medida para asegurar la precisión.

Ficha hidrogeológica ACF - Sondeo vertical de resistividades

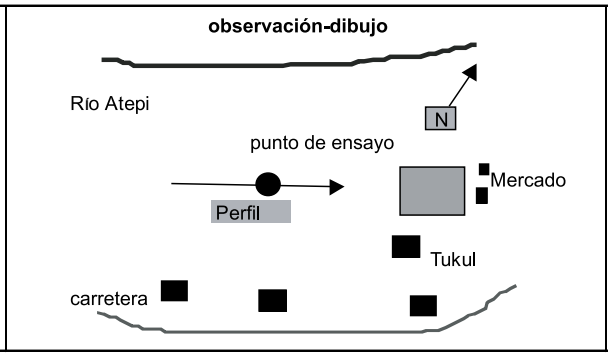
Sondeo de resistividades	Fecha: 10/01/1996	Situación : Labone II Agada market
Dispositivo: Schlumberger	Referencia: P18_S17	X: 703 73 Y: 233 56 Z: 1026

Rresistividad ρa = K x ΔV / I

K = Π x (AM x AN) / (MN)

AB max = 200 m.

MN superposición = 15 & 80 m.



Ensayo n° 17_____ **Punto de Perfil**: 110_____ **Dirección del ensayo**: N 060 _____

AB/2	MN=2	MN=10	MN=40	ΔV (mV)				I (mA)				ρa (Ω.m)			
2	4.71														
3	12.5			2397				58				516.6			
4	23.5														
5	37.7			1213				75				609.7			
6	55														
8	99			388				69				556.7			
10	155			134				52				399.4			
15	352	62,8		26	266			52	90			176	185.6		
20	627	118		15.7	81.3			94	93			104.7	103.2		
25	980	188		11.7	37.8			143	93			80.18	76.41		
30	1412	275			26.5				106				68.75		
35	1922	377			13.9				82				63.91		
40	2511	495			10.6				78				67.27		
50	3925	780			13.1				127				80.46		
60	5653	1120			10				128				87.5		
70		1530			10.7				166				98.62		
80		2000	471		5.6	24.6			105	104			106.7	111.4	
100		3130	754		3.3	14			84	84			123	125.7	
120		4900	1100			18.9				131				158.7	
150		7050	1736			13.7				117				203.3	
175			2374												
200			3110												

Figura 11.16: Ejemplo de un estudio VES Schlumberger sobre una roca de base (ACF, Sudán, 1996).

El ejemplo mostrado en la Figura 11.16 corresponde a un estudio realizado en una zona de roca metamórfica (gneiss) en Sudán. Se realizaron dos solapamientos:

– el primero, a ΔV = 26 mV para un MN = 2 m, y ΔV = 266 mV para un MN = 10 m. Este solapamiento se realizó en tres puntos de medición (AB/2 = 15, 20 y 25 m);

– el segundo a ΔV = 5.6 mV para MN = 10 m y ΔV= 24.6 mV para MN = 40 m. Este solapamiento se realizó en dos puntos.

Los dos solapamientos fueron satisfactorios, en el sentido de que los valores de la resistividad aparente y las pendientes de las curvas antes y después del solapamiento están próximos (Figura 11.16).

La configuración Wenner evita la necesidad de realizar solapamientos porque entre cada medida la distancia MN se incrementa progresivamente a lo largo de AB.

La configuración polo-polo apenas se usa en las prospecciones VES porque su resolución no es tan buena como la de los dispositivos con cuatro polos (Schlumberger o Wenner). Además, requiere situar electrodos en el 'infinito' (A y M)**,** es decir, a una distancia de al menos 20 veces el espaciamiento más largo B-N**,** cosa que no es siempre fácil en el campo. La profundidad de la prospección viene dada por el espaciamiento (a) de los electrodos móviles B y N.

La ventaja principal del dispositivo polo a polo radica en su rapidez (sólo se mueven dos electrodos, no hay solapamiento) y en la profundidad de penetración, que es mayor que la del dispositivo Schlumberger para la misma longitud de línea.

En la Figura 11.17 se muestran ejemplos de sondeos polo-polo y Schlumberger realizados por ACF en Camboya. Los resultados son comparables en ambos casos. También se puede observar que, para a = 80 m, la profundidad de investigación en el método polo-polo es significativamente mayor que la obtenida con el método Schlumberger para AB/2=40 m. Por otro lado, los contrastes tienen mucha mayor definición con el método Schlumberger.

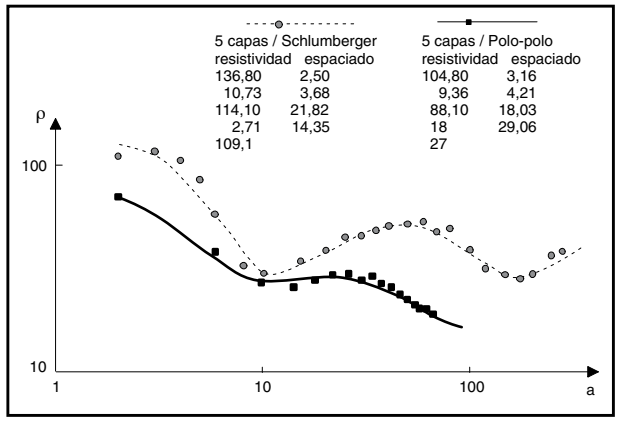


Figura 11.17: Ejemplo de una prospección polo-polo (ACF, Siem Reap, Camboya, 1998).

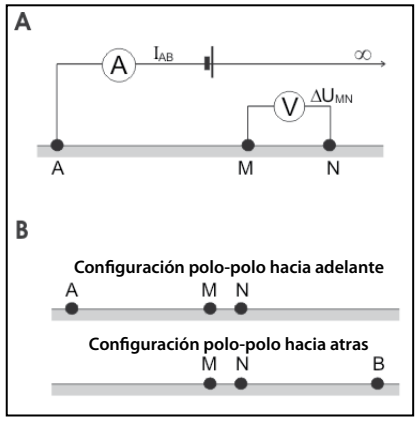


Figura 11.18: Prospección semi-Schlumberger. A: principio. B: configuraciones.

La configuración polo-dipolo, o el sondeo semi-Schlumberger tiene la ventaja sobre otros dispositivos de permitir llevar a cabo dos sondeos en el mismo sitio invirtiendo la posición del electrodo situado en el infinito (Fig. 11.18). En un medio unidimensional los dos sondeos son idénticos; cualquier diferencia encontrada indica que el medio es heterogéneo y las prospecciones unidimensionales no son adecuadas (ver Cuadro 11.2).

Interpretación

El número de capas, sus resistividades verdaderas y sus espesores respectivos se pueden estimar a partir de las medidas de resistividad aparente. Hay varios métodos de interpretación. El más simple es el de la curva auxiliar o método Hummel, aunque también hay disponibles programas de ordenador (ver Cuadro 11.2).

Cualquiera que sea el método de interpretación, se requiere la aplicación de un proceso de calibración para cada nueva zona geológica. Esto implica que haya que hacer prospecciones a partir de sondeos existentes y de afloramientos visibles para calibrar los resultados de las interpretaciones (número de capas, resistividades calculadas y espesores) con los datos litológicos. Solamente tras este proceso de calibración se puede considerar significativa la interpretación de las medidas geofísicas.

El ejemplo de la Figura 11.19 pertenece a una formación cristalina de roca base en Sudán. El potencial acuífero viene dado por una capa de 18 m de espesor con una resistividad de 95 Ωm. La resistividad calculada es, sin embargo, un poco baja, y puede ser que esta formación, que corresponde a una zona fisurada/meteorizada de la roca base, sea sólo ligeramente arcillosa, o que el agua no contenga muchos minerales. Solamente con experiencia y observaciones en la zona se pueden confirmar o descartar estas hipótesis. También es posible que este acuífero potencial esté recubierto por una capa arcillosa (resistividad 18 Ωm en 7,5 m) que proporciona una buena protección del agua subterránea de posible contaminación procedente de la superficie: es por tanto probable que sea un acuífero confinado.

Ficha hidrogeológica ACF - Ensayo de resistividades con la profundidad

Dispositivo : Schlumberger
Equipo: medidor de resistividades Mega

Fecha: 10/01/96
Ref: P18_S17

Situación : Labone II Agada mercado
X: 703 73 **Y: 233 56**

resistividad ρa = K x ΔV / I
K = Π x (AM x AN) / (MN)
AB max = 200 m.
MN superposición = 15 & 80 m.

Interpretación manual del ensayo

capa	prof. (m)	espesor (m)	ρ(Ω.m)	interpretación geológica
1		0.5	208	superficie
2	0.5	3.9	857	saprofita seca
3	4.4	7.5	18.2	saprofita arcillosa
4	11.9	18	95	arena húmeda (¿y arcilla?)
5	29.9		780	lecho rocoso
6				
7				

ensayo n° : 17 **punto del perfil** 110_____ **dirección del ensayo** : N 060 _____

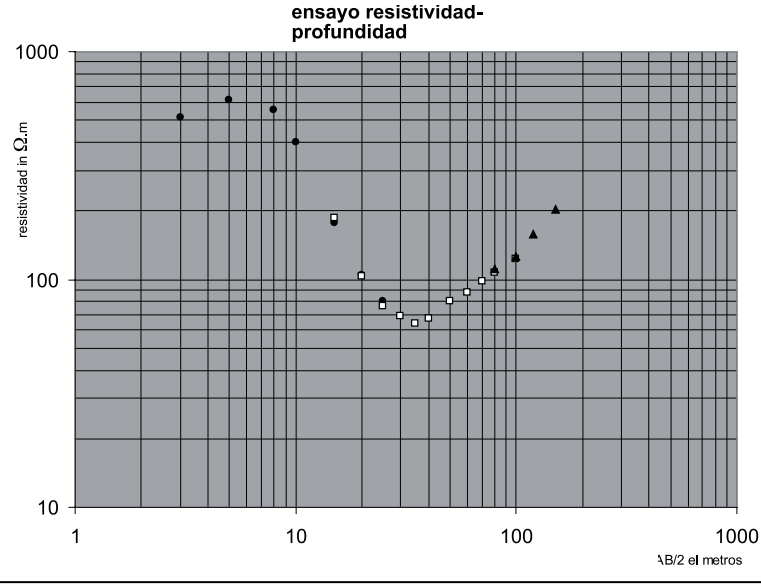


Figura 11.19: Resultados de una interpretación VES (ACF, Sudán, 1996).

Cuadro 11.2
Interpretación de VES.

Los resultados se representan gráficamente en papel doble logarítmico con valores de AB/2 (abscisa en metros) frente a los valores medidos en el campo de resistividad aparente (ordenada en Ω·m). Así se obtiene la curva experimental de la prospección. Esta curva se compara luego con las curvas teóricas para estimar las resistividades verdaderas y los espesores de la formación.

Nomenclatura:

- resistividad aparente: ρ_a
- resistividad calculada de la formación n: ρ_n
- resistividad calculada de la formación teórica: ρ_f
- espesor de la formación n: e_n

Curvas

Una prospección eléctrica realizada en una única capa isotrópica da una curva experimental (Figura 11.20) que es simplemente una línea recta horizontal (ρ es una constante en función de la profundidad, que viene dada por AB/2).

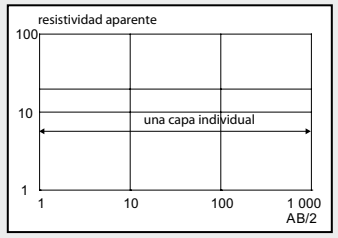
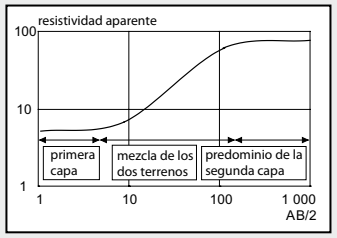


Figura 11.20: Curva de una capa simple.



Una prospección realizada sobre un perfil de dos capas da una curva relativamente simple (Figura 11.21). La primera sección se corresponde con la primera capa (curva de una capa), y la pendiente de la zona de influencia de ambas formaciones viene dada por la relación ρ_2/ρ_1. Cuando $\rho_1 < \rho_2$, la curva es creciente; si $\rho_1 > \rho_2$, la curva es decreciente. El final de la curva, cuando AB/2 tiende al infinito, tiende a un valor que corresponde a la resistividad de la segunda formación.

Figura 11.21: Curva de dos capas.

Una prospección de tres capas se caracteriza también por la relación de resistividades. El ejemplo corresponde a una curva para la que $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$ (Figura 11.22).

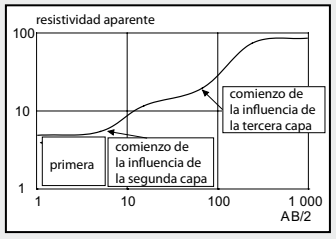


Figura 11.22: Curva de tres capas.

Principios de la interpretación manual, nomogramas

La idea consiste en la comparación de las curvas experimentales y teóricas representadas como nomogramas. Hay varias clases de nomogramas usados en la interpretación de prospecciones eléctricas. Los métodos operativos son, sin embargo, muy similares para todos ellos. Los nomogramas Cagniard, usados en el dispositivo Schlumberger se incluyen en el Anexo 8C. De hecho hay dos clases de nomogramas: los nomogramas de 'dos formaciones' y los tres nomogramas auxiliares.

El nomograma de dos formaciones es un conjunto de curvas teóricas dibujadas en papel doble logarítmico que muestran a ρ_a en función de AB/2 para diferentes valores de las relaciones ρ_2 / ρ_1.

Cuando hay más de dos capas en el suelo, se usa el método del nomograma auxiliar. Consiste en reducir cualquier prospección de n capas a una sucesión de sondeos de dos capas: todos los sondeos empiezan con la interpretación de una prospección de las dos primeras capas. Luego se reemplazan estas dos capas por una capa teórica eléctricamente equivalente. Con la tercera capa, esta capa teórica forma un par de capas teóricas (principio de reducción). Y se procede así, sucesivamente, hasta que se alcanza la última capa.

Método operativo

Se traza la curva experimental del mismo modo en papel doble logarítmico transparente a la misma escala que la de los nomogramas (AB/2 en abscisas y ρ_a en ordenadas).

Los valores de ρ_1, ρ_2 y e_1 se estiman por simple superposición del nomograma de 'dos formaciones' con el comienzo de la curva experimental, seleccionando la curva teórica que más se corresponde con la curva experimental, manteniendo los ejes paralelos. El origen de las curvas en el nomograma, llamado cruz de la izquierda, da en abscisas el espesor de la primera formación e_1 y en ordenadas la resistividad real de la primera formación ρ_1. En la curva teórica seleccionada, la relación ρ_2/ρ_1 permite calcular ρ_2. La posición de la cruz de la izquierda se indica en la curva experimental.

Para conocer ρ_3, se toma el nomograma auxiliar como una función de la relación ρ_3/ρ_1. La curva experimental se superpone al nomograma auxiliar haciendo coincidir su origen con la cruz de la izquierda trazada previamente. Luego se dibuja sobre la curva experimental, la curva del nomograma auxiliar correspondiente a la relación previa ρ_2/ρ_1; esta curva representa la localización geométrica del origen del nomograma de 'dos formaciones'. Se toma el nomograma de 'dos formaciones', manteniendo su origen en esta curva y ajustándolo a la forma de la curva experimental. Marcando una cruz nueva como origen del nomograma de dos capas, se obtiene en ordenadas el valor ρ_f de la formación teórica (equivalente eléctricamente a las primeras dos formaciones). Y a partir de la relación ρ_3/ρ_f leída de la curva teórica seleccionada se puede obtener el valor de ρ_3.

El valor de e_2 se estima reemplazando el nomograma auxiliar en la curva experimental, asegurándose de que su origen coincide con el origen de la primera cruz de la izquierda. El sitio de la segunda cruz en el nomograma de dos formaciones tiene en abscisas la relación e_3/e_f. Y el valor de e_f viene dado en las abscisas de la posición de la primera cruz de la izquierda.

Este proceso se repite hasta el final de la curva experimental para obtener todos los valores de resistividad real (ρ_n = ordenada de la cruz de la izquierda x relación ρ_{fn} / ρ_f) de las capas y todos sus espesores (e_n = abscisa cruz de la izquierda x relación e_n/e_f), excepto para la última capa.

Errores de interpretación

Un poco de práctica en el uso de nomogramas rápidamente hace de ellos una herramienta práctica y fácil de usar. Uno de los errores más comunes que se cometen al principio, es tratar de superponer perfectamente la curva experimental al nomograma, lo que nos lleva a una multiplicidad en el número de tipos de formación. En la práctica, resulta preferible escoger una curva teórica que incluya el máximo número de puntos de la curva experimental, y que siga también una tendencia similar. Si esto resulta difícil, siempre será posible seleccionar una curva que corresponda a un valor de la relación ρ_2 / ρ_1 intermedio y que no exista en el nomograma.

De estas interpretaciones no se obtiene una solución única. De hecho existen varias soluciones, llamadas equivalencias, que corresponden a diferentes espesores y resistividades de capas que dan la misma curva experimental (ρ/e o ρ.e). No es posible escoger la solución correcta sin información adicional (espesor de una formación encontrada por sondeo, resistividad determinada por la medida en un afloramiento, etc.).

Es posible también que exista un determinado tipo de formación y que no se ponga de manifiesto en la interpretación: este fenómeno de "supresión" en ocasiones tiene lugar en capas de poco espesor contenidas entre otras dos formaciones de resistividad parecida. Una vez más, esto solo se puede descubrir con información adicional externa.

También es posible que se obtengan interpretaciones erróneas de las prospecciones llevadas a cabo en ambientes anisotrópicos (capas no paralelas ni horizontales o con grandes variaciones laterales). A menudo, es posible darse cuenta de su presencia durante la interpretación, cuando las pendientes de las curvas crecientes son superiores a 45º o las curvaturas de máximos o mínimos son demasiado pronunciadas para ser manejadas con nomogramas.

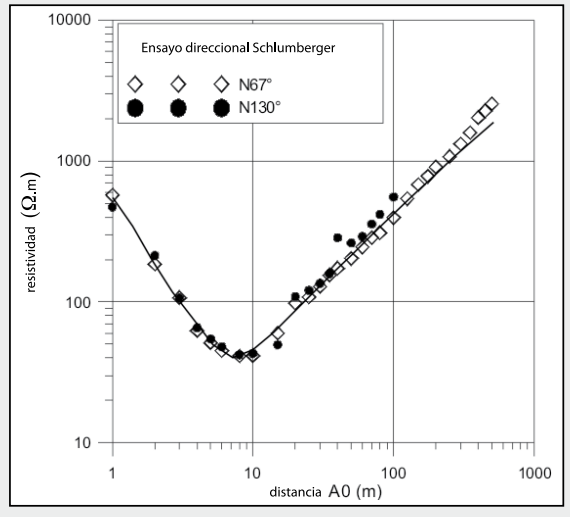


Figura 11.23: Verificación de la naturaleza homogénea de la zona. Dos prospecciones Schlumberger centradas en el mismo punto (o) pero en direcciones prácticamente perpendiculares (zona de base en Burkina Faso, ACF, 2003).

Llevando a cabo otra prospección con una rotación de 90º y centrada precisamente en el mismo punto confirma este problema de anisotropía (se obtienen curvas diferentes) y se podrá ofrecer una solución más exacta. (Figura 11.23).

Finalmente, haciendo interpretaciones con sentido común se pueden eliminar ciertas soluciones (valores aberrantes de ρ, número de formaciones diferentes que no se corresponden con el contexto geológico conocido, etc.) y obtener la solución correcta.

Interpretación por ordenador

Hay una serie de programas de ordenador que permiten una interpretación rápida de las prospecciones eléctricas, aunque tienen los mismos problemas que las interpretaciones manuales (supresión, equivalencia, número de tipos de formación). Los ordenadores no proporcionan la misma sensibilidad que la interpretación manual, pero tienen varias ventajas, principalmente velocidad y flexibilidad, que permiten cambiar modelos con facilidad y visualizar equivalencias y supresiones.

Para quienes tengan poca experiencia, se recomienda su uso para verificar la validez de las soluciones manuales. El personal con experiencia en interpretaciones manuales puede aprovechar la rapidez de la interpretación directa por ordenador.

ACF escogió el programa IPI2WIN, desarrollado por el laboratorio de Geofísica de la Universidad del Estado de Moscú. Se adapta bien para su uso en el campo y se puede descargar libremente en http://geophys.geol.msu.ru/rec_lab3.htm.

El programa se ha modificado para adaptarse a las necesidades de ACF, es fácil de usar y ofrece altas prestaciones (comparación entre prospecciones, exploración de dominios de equivalencia, etc.). Puede también interpretar datos obtenidos con cualquiera de los principales equipos (Schlumberger, Wenner, polo-polo, polo-dipolo).

4.2.3.4 PROSPECCIÓN CUADRADA

Implementación

Se puede usar una prospección cuadrada para complementar una prospección estándar en un medio anisotrópico. El principio es el mismo que para la prospección Wenner. La principal diferencia consiste en que para cada profundidad investigada, la resistividad aparente se mide en diferentes direcciones, la configuración se gira antes de separar los electrodos A y B para probar a una profundidad mayor.

La configuración se define como AB = MN y OA = OB = OM = ON. Se coloca como sigue (Figura 11.24), las direcciones se miden a partir del centro O:

- electrodo A posicionado en N315;
- electrodo N posicionado en N135;
- electrodo B posicionado en N045;
- electrodo M posicionado en N225.

Cuando se efectúan medidas con esta configuración, la dirección de la resistividad medida es N090/N270 (paralela a la dirección AB y MN). El ángulo entre el Norte y la dirección de la resistividad medida es $\alpha = 90°$. Invirtiendo las conexiones de los electrodos M y B en el medidor de resistividad (Figura 11.25), se obtiene una nueva configuración tal que la dirección de la resistividad aparente es N000. Luego se define el ángulo $\beta = 0°$. Para obtener direcciones adicionales, el dispositivo cuadrado se gira un ángulo, p.ej., de 30º (Figura 11.26).

El dispositivo A1, B1, M1, N1 da resistividades aparentes para las direcciones $\alpha_1 = 90°$ y $\beta_1 = 0°$, el A2, B2, M2, N2 para las direcciones $\alpha_2 = 120°$ y $\beta_2 = 30°$, y el A3, B3, M3, N3 para las direcciones $\alpha_3 = 150°$ y $\beta_3 = 60°$.

En el campo, el ángulo de rotación del dispositivo depende del grado de precisión requerido: en términos generales se usan ángulos de 30º ó 45º. Si la dirección de la fractura considerada es N000, y el ángulo escogido entre cada medida es, p.ej., de 30º, se obtienen los parámetros especificados en la Tabla 11.VII.

Tabla 11.VII: Parámetros de la configuración cuadrada en rotación.

Dirección de líneas implementadas (dirección OB)	Dirección de líneas obtenida invirtiendo M y B (dirección OB)	Dirección de las resistividades medidas respecto a N000
N 045	N 225	$\alpha_1 = 90°$, $\beta_1 = 0°$
N 075	N 225	$\alpha_2 = 120°$, $\beta_2 = 30°$
N 105	N 285	$\alpha_3 = 150°$, $\beta_3 = 60°$

Cuando se han tomado las medidas para una determinada longitud AB en todas las direcciones, se puede incrementar el lado del cuadrado para investigar mayores profundidades.

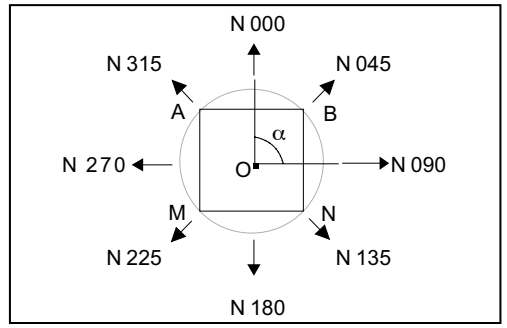


Figura 11.24: Disposición de los electrodos en una prospección cuadrada.

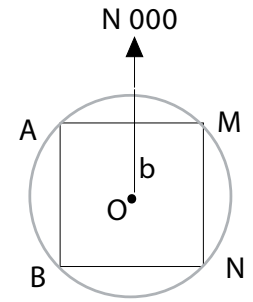


Figura 11.25: Configuración cuadrada invertida.

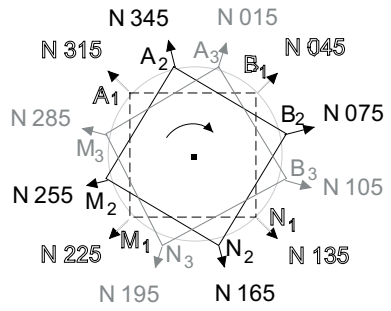


Figura 11.26: Rotación de una configuración cuadrada.

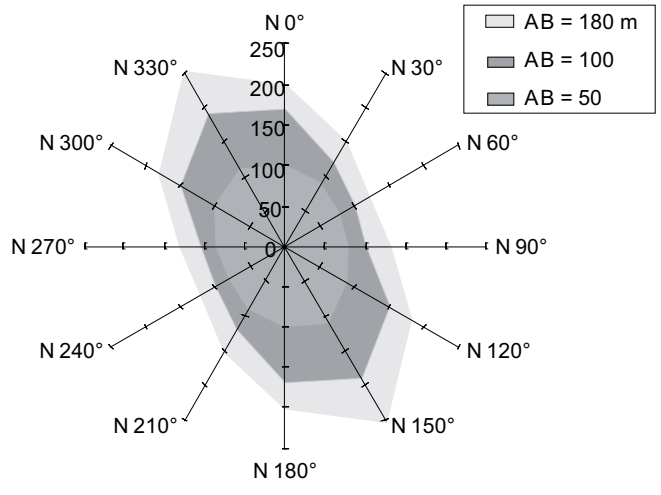


Figura 11.27: Resultados de una prospección cuadrada.

Interpretación

Las resistividades se calculan con la formula estándar: $\rho_a = \Delta V \times K/I$, y

$$K = \frac{2 \cdot \pi \cdot AB}{2 - \sqrt{2}}$$

La Tabla 11.VIII da varios valores de K para longitudes AB usadas normalmente. En la Figura 11.27 se representan valores de resistividad en función de la dirección. La dirección de la anisotropía a varias profundidades puede verse claramente de forma gráfica. En la Figura 11.27 la anisotropía (correspondiente a una zona de roca base fracturada) en la dirección N 60° aumenta con la profundidad.

Los parámetros descriptivos se definen de la siguiente manera:

– dirección de la anisotropía θ;

– coeficiente de anisotropía $\lambda = \rho a/\rho b$ (cuanto mayor sea el valor de este coeficiente, mayor será la anisotropía);

– resistividad media $\rho_m = (\rho_\alpha \rho_\beta)^{1/2}$.

En cada dirección y profundidad de la investigación se pueden conocer la magnitud de la anisotropía (λ), su dirección (θ) y la resistividad media (ρ_m).

Tabla 11.VIII: Valores de K.

AB (metros) (= MN = AM = BN)	K
180	1 931
140	1 502
100	1 073
70	751
50	536

4.2.3.5 PERFIL DE RESISTIVIDADES (RP)

Implementación

Desplazando una configuración de una determinada longitud AB–MN en una dirección determinada (Figura 11.28A), se obtiene un perfil de resistividades aparentes de una parte del terreno de un espesor aproximadamente constante.

Se escoge la dirección del perfil en base a las supuestas direcciones de las anomalías detectadas en el campo o por fotointerpretación. El procedimiento ideal consiste en seleccionar una zona perpendicular a través de la anomalía, para determinar su anchura y estimar su ángulo de inclinación (Figura 11.28B).

El perfil ρ_a, mostrado en la Figura 11.28B se obtiene para una longitud AB pequeña, donde el perfil ρ_a corresponde a una longitud AB mayor ($\rho_1 < \rho_2$). El espaciamiento de los electrodos AB viene determinado, por tanto, por la profundidad bajo investigación. Los espaciamientos a tomar para cada medida son una función de la precisión deseada: un intervalo de 10 m puede considerarse como una medida estándar.

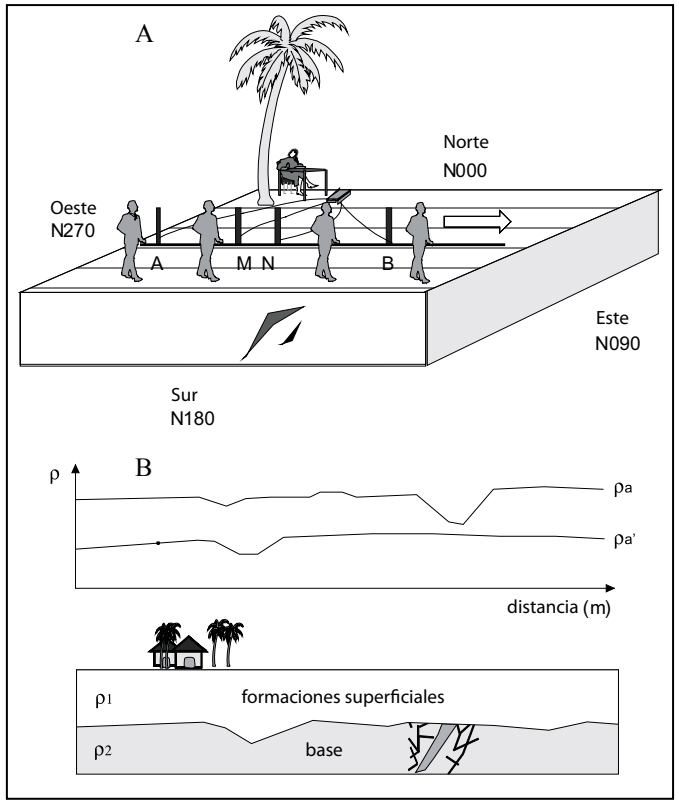


Figura 11.28: Perfil de resistividades. A: Preparación. B: Ejemplo.

Interpretación

Las medidas de resistividad aparente se representan en papel milimetrado, con la longitud AB/2 en abscisas y las resistividades aparentes en ordenadas (Figura 11.29).

En las zonas de roca base, un estudio de *Burgeap* (1984) muestra que las anomalías detectadas por ER se detectan mejor cuando:

– la anchura de la anomalía (medida entre los dos puntos de inflexión) es menor de unos 50 m.;

– la resistividad mínima aparente se encuentra entre 50 y 120 Ωm*;

– el contraste de resistividades (relación entre la resistividad aparente de la roca circundante y la resistividad mínima de la anomalía) es mayor que 1,5 (Este valor debe ser mayor para anomalías más grandes).

*Este rango de resistividad es aproximado porque depende de las condiciones locales. Con un poco de experiencia de la zona en cuestión, se puede redefinir con facilidad.

4.2.3.6 REPRESENTACIÓN DE LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (ERI)

Implementación

La representación de la resistividad eléctrica se lleva a cabo haciendo series de medidas en dos direcciones. Para ello, se colocan una serie de electrodos a lo largo del perfil. Mientras en un VES normal se necesitan 4 electrodos, en el ejemplo mostrado en la Figura 11.30 se usaron 64 electrodos. Cada uno de ellos está conectado al medidor de resistividad por medio de un dispositivo adecuado y puede usarse como electrodo para inyección (A o B) o para la medida de potencial (M o N). En primer lugar se registra una secuencia en la memoria del medidor de resistividad, definiendo qué electrodos se usarán para cada medida: se utilizarán, por tanto, todas las combinaciones posibles para la exploración a diferentes profundidades y en varios puntos a lo largo de la sección. Se usan generalmente configuraciones simétricas, como la Wenner (sensibilidad a las variaciones verticales y laterales) y la configuración dipolo-dipolo (mayor sensibilidad a las anomalías verticales).

Interpretación

La serie de medidas se interpreta utilizando un programa para calcular el perfil de resistividades de la formación. La Figura 11.31 muestra un perfil obtenido a partir de una representación de resistividades realizada por ACF en Mozambique, con una configuración Wenner (128 electrodos, espaciamiento de 4 metros) en una formación de arenisca arcillosa. La utilidad de este método es evidente en este tipo de formaciones heterogéneas: los contrastes de resistividad calculados revelan las estructuras geológicas que se interpretan en este ejemplo como zona de arenisca arcillosa sin acuíferos en el noroeste y como una zona arenosa, que puede contener agua en el sudeste.

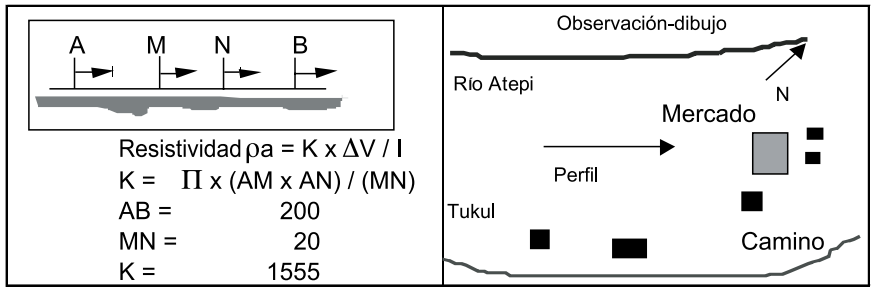
El ERI es el único método operativo que puede usarse normalmente en programas humanitarios para hacer medidas bidimensionales. Es por tanto el método preferido para usarse en ambientes heterogéneos.

ACF usa dos programas para llevar a cabo un ERI. El programa libre X2IPI desarrollado por el Laboratorio de Geofísica de la Universidad Estatal de Moscú (http://geophys.geol.msu.ru/rec_lab3.htm) usado para preparar las secuencias de medidas que se registrarán en el medidor de resistividad y para controlar y analizar los registros (análisis de las mediciones, supresión de ruidos, etc.). El programa RES2DINV se usa para interpretar las resistividades aparentes (medidas analizadas previamente con el programa X2IPI) y para obtener un perfil de la resistividad calculada (Figura 11.31). Una versión básica de este programa, suficiente para la interpretación de datos simples, se puede descargar libremente en (http://www.geoelectrical.com).

El dispositivo para una prospección ERI difiere del de un VES estándar en que se han de posicionar todos los electrodos antes de empezar las medidas, lo que puede llevar unos 45 minutos para una secuencia Wenner de 64 electrodos.

Ficha hidrogeológica ACF Perfil de resistividades

Configuración	Schlumberger	Fecia:	09/01/96	Situación :	Labone II Agada
Equipo :	ΩMEGA resistivity meter	Ref:	LA-P18	X: 703 73	Y: 233 56



Perfil n° : 18 Direccion del perfil n°: N 060

punt	ΔV	I	ρa		ΔV	I	ρa
0	12.9	126	159	130	10.2	128	124
10	11.6	100	180	140	11.4	121	147
20	14.3	108	206	150	14.8	133	173
30	21.4	158	211	160	12.7	107	185
40	20	150	207	170	14.6	128	177
50	16.9	118	223	180	16.6	151	171
60	13.4	80	260	190	15.8	135	182
70	18	159	176	200	12.9	119	169
80	13.4	104	200	210			
90	8.5	78	169	220			
100	11.2	121	144	230			
110	5.5	71	120	240			
120	7.4	99	116	250			

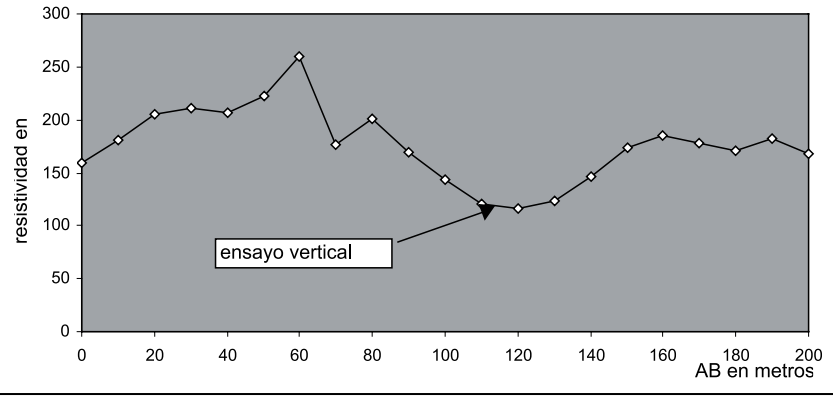
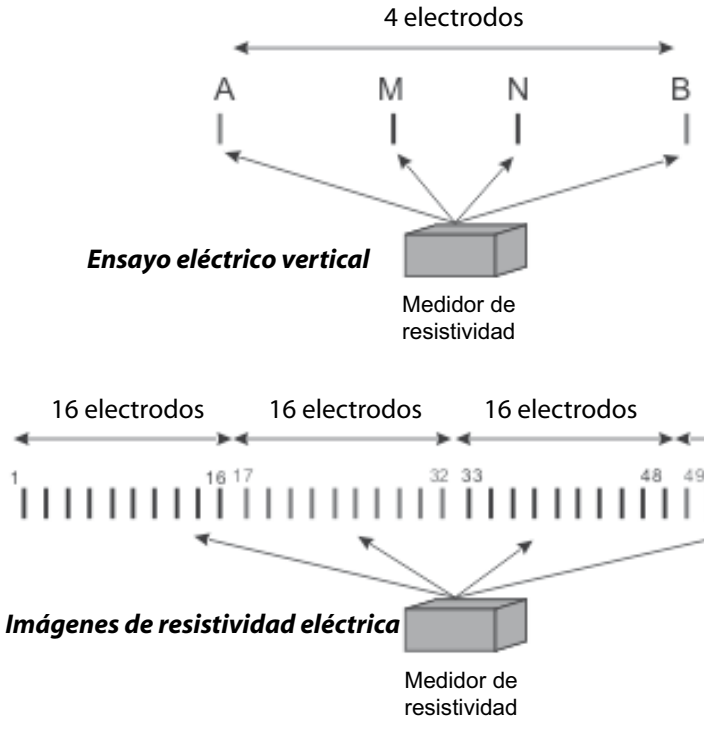


Figura 11.29: Ejemplo de un perfil en zona de roca base (ACF, Sudán, 1996). Este ejemplo contempla formaciones granito-gneis. La configuración Schlumberger escogida fue AB = 200 m, MN = 20 m, con puntos de medida cada 10 m. En la zona de roca base estudiada, el objetivo era identificar las zonas meteorizadas de mayor volumen por ser las que tienen mayor probabilidad de contener un acuífero. El lecho de roca base sólida (y estéril) tiene una resistividad elevada, mientras que las secciones meteorizadas que llevan agua son conductoras, por lo que es posible identificar, a una profundidad de unos 110 m en el perfil, una zona donde la resistividad aparente es más baja y que, por tanto, tiene mayor probabilidad de estar meteorizada a una profundidad mayor. El VES presentado en la Figura 11.28 se llevó a cabo en este punto a 110 m.

A



B

Figura 11.30: Configuración para medidas ERI, A: Comparación entre una configuración VES normal y una configuración ERI. B: Configuración Wenner, 64 electrodos y espaciamiento de 4 metros usado en Honduras (ACF, 2000).

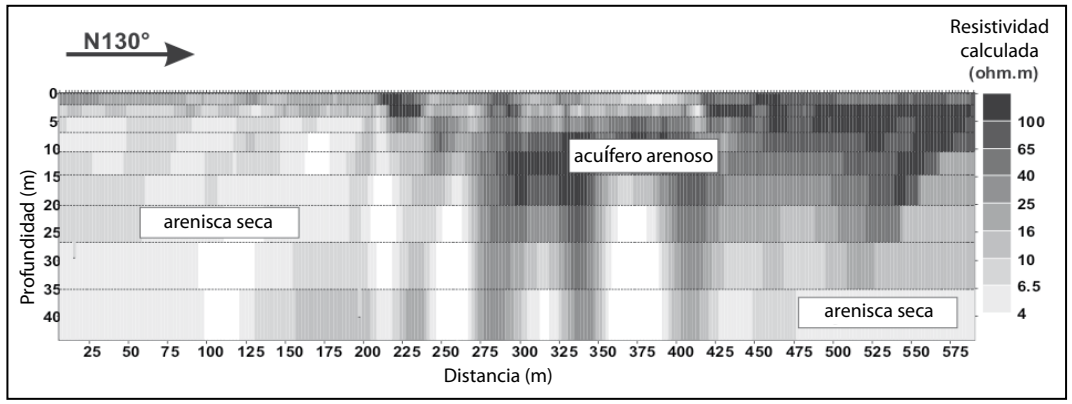


Figura 11.31: Representación por imágenes de resistividad eléctrica, ERI (ACF, Mozambique, 2000).

4.2.3.7 REGISTRO ELÉCTRICO DE UN SONDEO (BEL)

El registro eléctrico de un sondeo no es un método de exploración de agua subterránea estrictamente hablando, sino que forma parte de la metodología geofísica eléctrica. Basado en el mismo principio que los métodos superficiales, consiste en usar diferentes configuraciones de electrodos para medir resistividades directamente en el sondeo. Cuando se realiza justo al final de la operación de perforación, permite localizar con mucha precisión las zonas generadoras de agua y por tanto define la posición óptima de los tramos de tubería ranurada.

El principal valor de este método reside en la capacidad de obtener la cantidad máxima de información de sondeos productivos en zonas sedimentarias, donde la transición de zonas arenosas a arcillosas es progresiva. También proporciona una indicación clara sobre los problemas de mineralización del agua y, por lo tanto, de salinidad.

Implementación

En el registro eléctrico son posibles varios tipos de medidas. La experiencia de ACF en Camboya mostró que la sonda normal y las prospecciones de resistividad del fluido permiten obtener la principal información buscada.

Las sondas normales (Figura 11.32) usan una configuración polo-polo: los electrodos B y N se sitúan, por tanto, en el infinito (según Chapellier (2000), B y N pueden considerarse como infinito cuando MN > 14 AM). El espaciamiento AM determina la 'profundidad lateral' de la investigación. Un espaciamiento de 20 cm (sonda N20) proporciona una precisión aceptable de los límites de la capa, pero se verá bastante afectada por el fango de la perforación. La sonda N80 corresponde a un espaciamiento de 80 cm y es menos precisa en la definición vertical, pero proporciona una resistividad medida que se aproxima a la resistividad real.

La sonda de medida de la resistividad del fluido usa la configuración Wenner (a = 2 cm) con los cuatro electrodos sumergidos en el fluido. La medida de la resistividad del fluido es esencial para la interpretación de las otras medidas del registro. También puede indicar, si se requiere, la zona de captación del agua (que registra generalmente variaciones de resistividad).

La sonda desarrollada por ACF puede realizar medidas de temperatura y de resistividad del fluido, del potencial espontáneo (SP) y medidas mono y con electrodos normales a 8, 16 y 32 cm. Esta sonda se baja manualmente por el sondeo. Los intervalos de medida son de 50 cm, o menos si se requiere mayor precisión. Las medidas se toman en la superficie utilizando el mismo medidor de resistividad usado en la prospección.

El operario puede completar la prospección en el mismo terreno mostrando los resultados en una hoja Excel que suministra curvas de los parámetros medidos en función de la profundidad. Es importante medir la resistividad y la temperatura del fluido, así como el potencial espontáneo (SP) durante el descenso, cuando el agua del sondeo no ha sido muy agitada, y de las sondas normal y mono durante el ascenso.

Interpretación

Los valores de resistividad se calculan *in situ.* Nota: el coeficiente geométrico K corresponde a una esfera completa y no a un hemisferio; viene dado por tanto por:

$$K = \frac{4\pi}{1/AM - 1/BM - 1/AN + 1/BN}$$

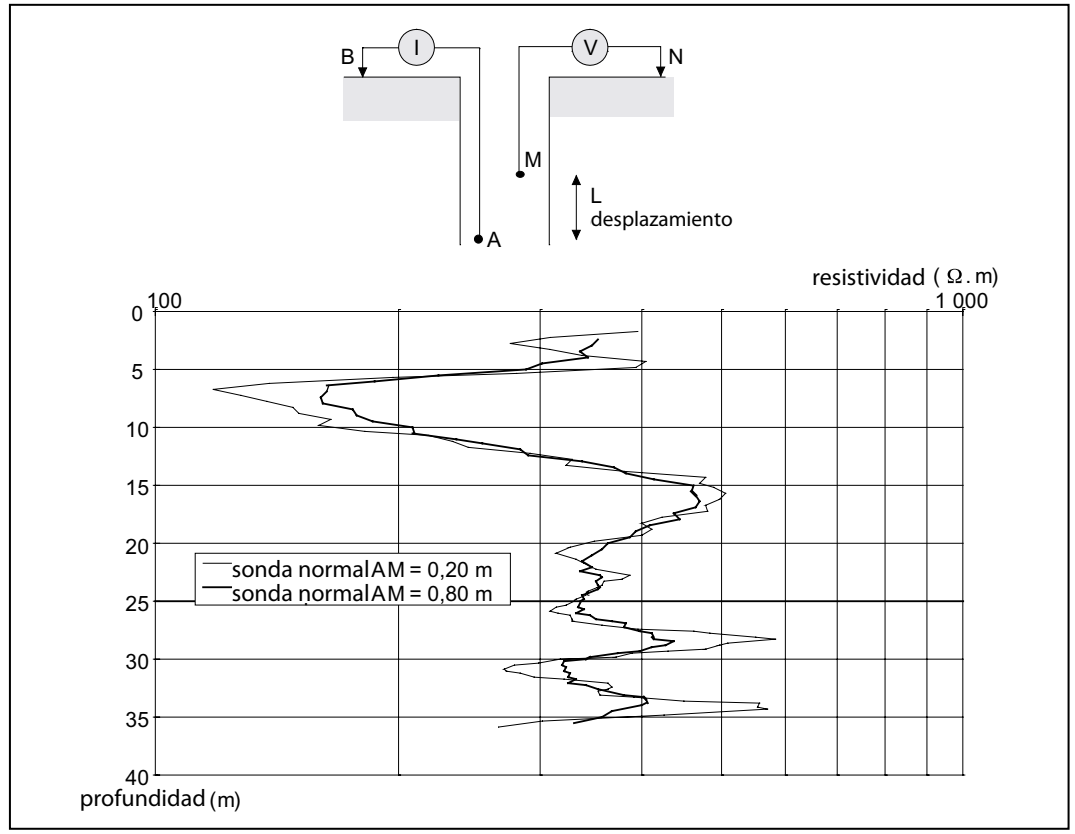


Figura 11.32: Diagrafía eléctrica (ACF, Siem Reap, Camboya, 1998).

Un ejemplo de las curvas para las sondas N20 y N80 se muestra en la Figura 11.32. Corresponden a un pozo perforado por rotación (ver Capítulo XIII) usando un fango polimérico (ACF Camboya, 1998) en una zona de arena arcillosa. Durante el descenso, la sonda de resistividad del fluido no mostró ningún contraste importante a 35 m de profundidad en la perforación (el registro se realizó minutos después de la extracción de los tubos de perforación) y se tomó una medida de la resistividad del barro de perforación de 280 Ωm (unos 35 µS/cm). Las sondas normales usadas durante el ascenso indicaron dos zonas: una zona conductiva centrada a unos 7 m de profundidad, interpretada como arcillosa (= 150 Ωm), y una zona con mayor resistividad (= 350 Ωm) a 12 - 35 m de profundidad. Dentro de esta zona con mayor resistividad, tres zonas mostraron puntualmente una resistividad mayor (> 400 Ωm) y se interpretaron como arenas acuíferas. Esta interpretación, confirmada con el análisis de las pruebas, permitió la explotación óptima del sondeo (Q = 5 m^3/h).

Para obtener el máximo beneficio de la información obtenida con ensayos BEL, se deben interpretar los resultados solo tras la aplicación de algunas correcciones (espesor de capa, resistividades, etc.). Las diferentes medidas se han de correlacionar unas con otras. Se puede consultar la bibliografía para obtener más detalles.

4.3 Métodos electromagnéticos

4.3.1 PRINCIPIO

Los métodos electromagnéticos (EM) hacen uso de las propiedades físicas (eléctricas o electromagnéticas) del suelo cuyas magnitudes vienen afectadas por la inyección de corrientes eléctricas discontinuas (alternas), para estudiar la distribución de los valores de conductividad en el suelo (la conductividad es la inversa de la resistividad).

Los fenómenos EM se describen tradicionalmente por las ecuaciones de Maxwell, que establecen que cualquier corriente eléctrica que varíe con el tiempo produce una onda electromagnética, consistente en un campo eléctrico y otro magnético que se propagan en el espacio y que oscilan con la misma frecuencia y son perpendiculares entre sí.

Contrariamente al método de medida de la resistividad eléctrica, que usa corriente continua y requiere el uso de electrodos, los métodos electromagnéticos usan las propiedades de inducción de las ondas electromagnéticas y no requieren el contacto directo con el suelo. Se pueden, por tanto, poner en práctica con rapidez. Generalmente, estos métodos tienen una resolución mayor que los métodos DC en las formaciones conductoras (el fenómeno de inducción es más fuerte en formaciones conductoras), pero la definición es menor en las formaciones con resistividad.

4.3.2 MEDIDAS

Se pueden usar varias técnicas para medir la respuesta de las formaciones subterráneas a un estímulo EM. Sin embargo, la mayor parte de ellas se basan en la misma secuencia de eventos:

– **Estímulo**. Se crea una corriente eléctrica 'primaria', variable en el tiempo (generalmente oscilante) en un cable eléctrico. Esta corriente genera un campo magnético primario.

– **Reacción**. Cuando este campo magnético primario atraviesa las formaciones subterráneas, se crea por inducción en estas formaciones una fuerza electromotriz y una corriente asociada. Esta corriente 'secundaria', a su vez, genera un campo magnético secundario.

– **Recepción**. El campo magnético secundario también atraviesa las formaciones rocosas subterráneas e induce una señal en un receptor situado en la superficie. Así se pueden registrar varias cantidades: el campo resultante de los campos primario y secundario, el propio campo secundario, los componentes eléctricos o magnéticos, etc. Estos datos se analizan entonces para obtener información sobre la conductividad del subsuelo.

Los programas de ACF han empleado varios métodos EM:

– el método VLF;
– el método Slingram;
– prospecciones TDEM.

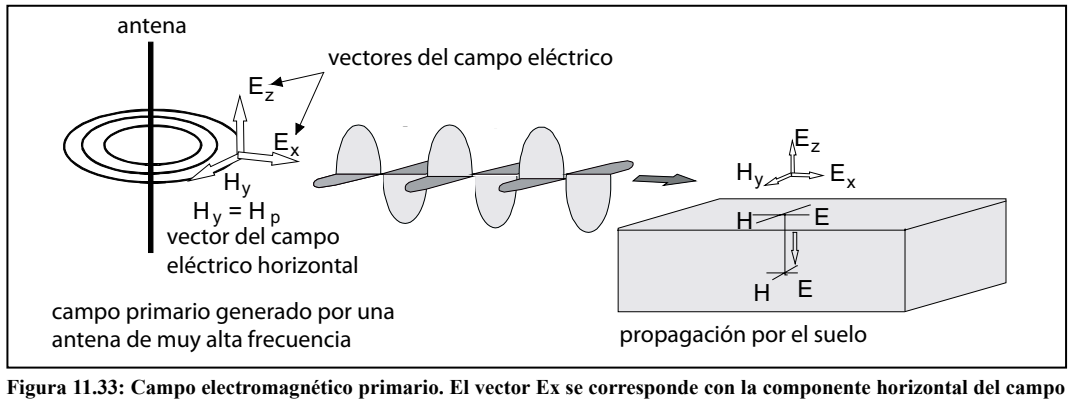


Figura 11.33: Campo electromagnético primario. El vector Ex se corresponde con la componente horizontal del campo eléctrico primario (en la misma dirección que la antena). El vector Ez se corresponde con la componente vertical del mismo campo. El vector Hp (o Hy en un sistema de coordenadas x, y, z) se corresponde con la componente horizontal del campo magnético primario (en ángulo recto respecto a la dirección de la antena).

4.3.3 EL MÉTODO VLF

Las antenas VLF (frecuencia muy baja) llevan corrientes eléctricas alternas con frecuencias que oscilan entre los 15 y los 30 kHz y se usan en comunicaciones militares a larga distancia.

Las ecuaciones de Maxwell indican que todas las corrientes eléctricas oscilantes generan ondas electromagnéticas, que se manifiestan como un campo eléctrico y un campo magnético perpendicular de la misma frecuencia (Figura 11.33).

Dificultades con el método

La limitación principal del método VLF consiste en su dependencia del campo primario. La transmisión VLF ya casi no se usa (muchas emisoras se han cerrado) y puede que este método no sea operativo dentro de pocos años. Además, las direcciones del perfil de las medidas VLF vienen determinadas por la posición de la antena del emisor primario, lo que puede ser una limitación severa en el terreno.

Además, la profundidad de prospección del método VLF raramente alcanza más de 20 m, y puede ser sólo de pocos metros si la capa superficial es altamente conductora (arcilla, agua salada).

Sin embargo, la rapidez de las medidas VLF hace que este método todavía se use de forma amplia, particularmente para medir perfiles en medios fracturados (usando equipos 'Wadi'), o para representar iso-resistividades aparentes en medios sedimentarios (usando el equipo 'TVLF').

Medidas del campo magnético usando el equipo Wadi

El equipo Wadi (de la compañía ABEM) se diseñó originalmente para la exploración de minerales y se ha adaptado para su uso en la exploración de agua, especialmente en zonas fracturadas, donde las discontinuidades son significativas. No proporciona resultados muy útiles en zonas sedimentarias (las estructuras sedimentarias son demasiado laminares y las discontinuidades no están suficientemente marcadas). Al igual que con otros equipos VLF, la señal de las anomalías resulta demasiado débil para su detección cuando hay una cobertura significativa de arcilla (los valores que se registran son próximos a 0).

Cuando el campo electromagnético primario intersecta con un medio conductor, este conductor genera a su vez un campo electromagnético secundario (Hs) de la misma frecuencia pero desfasado respecto al campo primario. Cuando se mide el efecto conjunto de los campos primario y secundario (Figura 11.34), el campo resultante, en vez de oscilar de forma lineal, describe una elipse (la "elipse de la polarización").

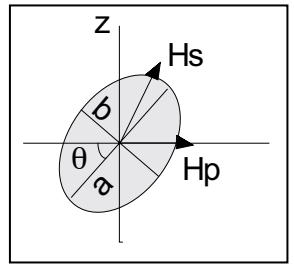


Figura 11.34:
Elipse de polarización del campo resultante de la interacción entre los campos primario y secundario.

Los aparatos de medida proporcionan:

– la relación b:a de los ejes menor y mayor de la elipse (en %), lo que proporciona información sobre la conductividad de la anomalía (definida como la relación real/imaginaria de la señal Wadi);

– el ángulo θ entre la horizontal y el eje mayor de la elipse de polarización. El coseno de este ángulo multiplicado por el eje mayor dará una aproximación del componente real, que se usa para localizar anomalías.

El Wadi se usa básicamente para la localización de fracturas en zonas de roca consolidada recubiertas someramente, implementando los perfiles como perfiles RP. Comparando con los métodos eléctricos, la implementación es mucho más rápida, permitiendo definir zonas de exploración mayores.

Los programas de interpretación dan información sobre las profundidades y las formas de las anomalías (Cuadro 11.3). El equipo proporciona la misma información de forma más esquemática directamente en el campo. Cualquiera que sea la información obtenida, se recomienda perentoriamente que se lleven a cabo mediciones VES en las anomalías para confirmar su potencial y especificar las profundidades.

En la Figura 11.35 se muestra el ejemplo de la localización de un pozo en Malí usando Wadi.

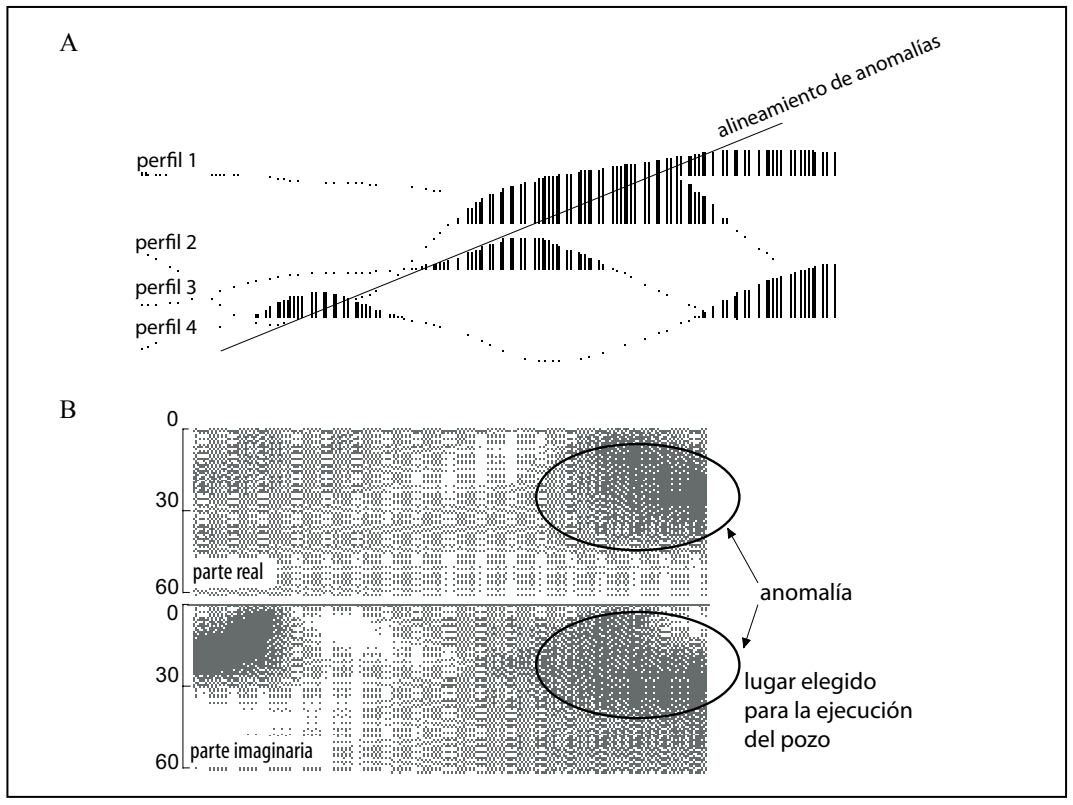


Figura 11.35: Pozo perforado tras una prospección Wadi (ACF, Malí, 1998).
LS = 10,2 m; profundidad = 15,2 m. A: Perfiles múltiples Re. B: Sección vertical.

Medidas del campo eléctrico usando el equipo TVLF

La medida de los componentes horizontales de los campos eléctricos (Ex) y magnéticos (Hy) resultantes permite calcular la resistividad aparente de las capas que se atraviesan, usando la relación:

$$\rho_a = \frac{1}{2\pi\mu_o f} \times \frac{Ex^2}{Hy^2}$$

donde μ_0 es la permeabilidad magnética en vacío ($= 4\pi\ 10^{-7}$) y f la frecuencia de la antena.

El TVLF (de Iris Instruments) puede medir simultáneamente Ex y Hy y calcula la resistividad aparente para la frecuencia de antena utilizada. Para medir Ex se usan dos electrodos fijados en el suelo en cada estación: si el punto de medida es el electrodo 1, el electrodo 2 se sitúa a una distancia de 10 m en la dirección de la antena (y por tanto del perfil). Hy se mide perpendicular a la dirección del perfil.

El desfase entre los planos E y H se mide también y se representa por el valor φ. En ambientes homogéneos, su valor es de 45º o -135º dependiendo del sentido del perfil o del ángulo de los electrodos. Indica como varía la resistividad. Cuando j < 45º (o –135º) la resistividad aumenta con la profundidad; inversamente, cuando j > 45º (o –135º) la resistividad disminuye con la profundidad.

TVLF en el modo de resistividad se usa principalmente en ambientes sedimentarios para cartografiar la resistividad aparente. En la Figura 11.36 se da un ejemplo de la implementación de un sondeo en depósitos aluviales procedentes de la granja de St. André (Francia, ACF, 1995). El pozo perforado No.1 fue abandonado (las formaciones incluían sedimentos arenosos salinos con capas de grava de espesor variable, así como guijarros). El pozo No.2 mostró el mismo tipo de perfil (más guijarros), con agua que provenía de una profundidad de 44 – 52 m. El pozo anterior mostrado en la Figura 11.37 no encontró guijarros ni grava, sino depósitos mucho más arcillosos hasta una profundidad de 60 m. El mapa de iso-resistividades puede interpretarse como un indicador de la presencia de un lecho de río antiguo, con depósitos de elementos de mayor o menor tamaño (guijarros, gravas, arena) ahí donde la corriente era mayor. La sedimentación de los elementos más finos (limos) tiene lugar en las riberas.

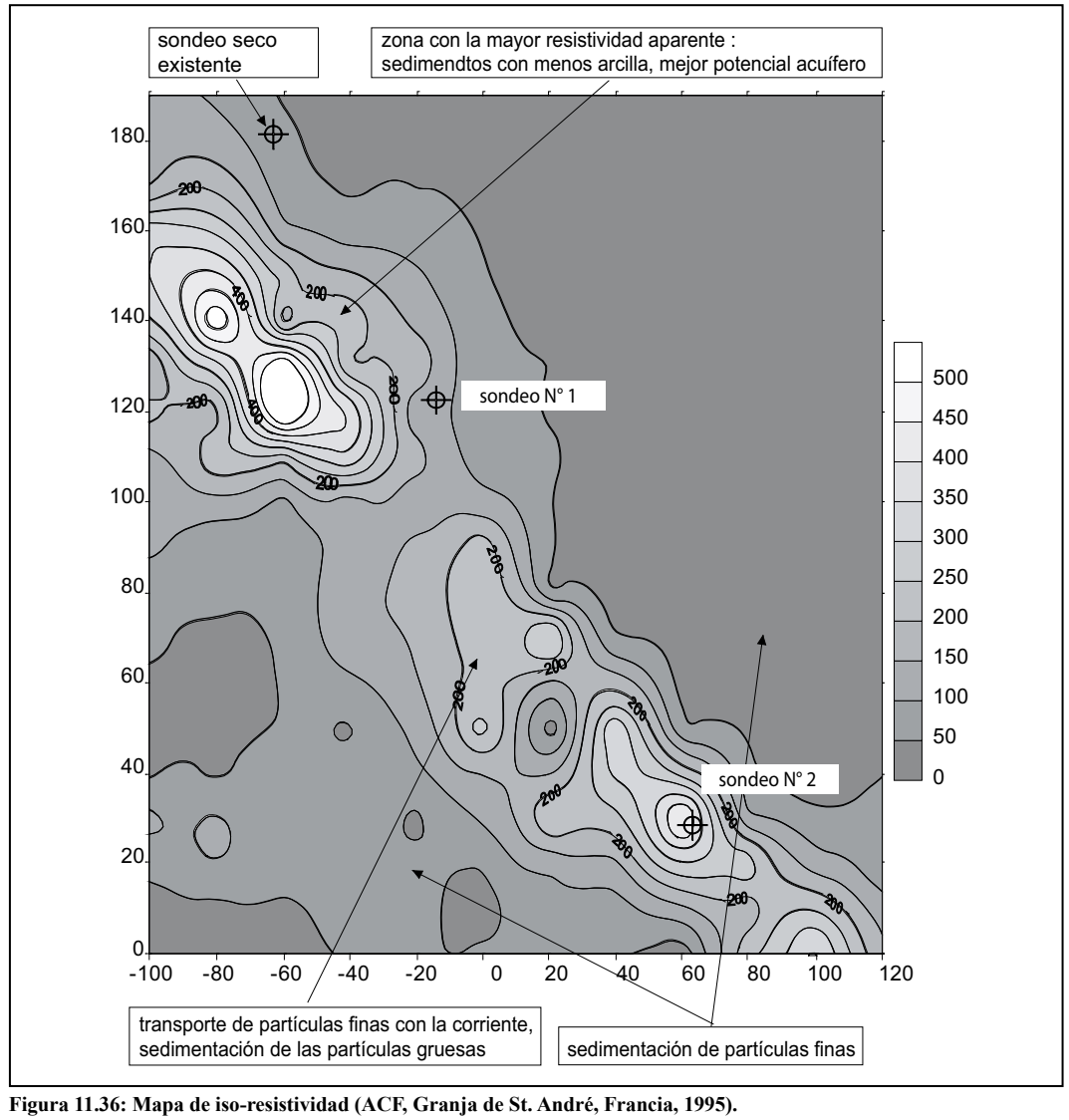
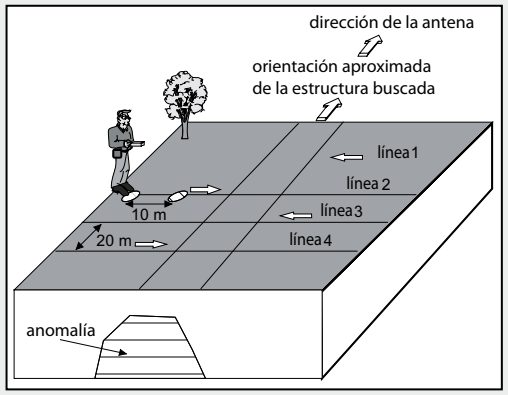


Figura 11.36: Mapa de iso-resistividad (ACF, Granja de St. André, Francia, 1995).

Cuadro 11.3
Trabajando con Wadi.

El Wadi permite medir la magnitud de la resultante de los campos primario y secundario, que se transforma en una función numérica compleja con componentes reales e imaginarios. El componente imaginario está desfasado 90º con el campo primario, mientras que el componente real está en fase con el campo.

Para poder detectar una anomalía conductiva, el campo magnético primario debe pasar perpendicularmente a través de la anomalía, es decir, la dirección del transmisor es la dirección de la anomalía. En otras palabras, la antena debe disponerse perpendicularmente a la dirección del espaciamiento y paralela a la de la anomalía. Es necesario tomar varios perfiles para confirmar la formación (Figura 11.37). Es importante mantener la misma dirección para las medidas de los distintos perfiles, aunque la dirección, en sí misma, no tenga importancia.



La distancia entre los perfiles depende de la anchura de la anomalía, del área a explorar y de la precisión requerida. Una distancia de 10 m entre cada medida es un buen compromiso entre la precisión y el tiempo requerido para hacer la medida.

Hay que reseñar que el programa Abem-Wadi tiene su propio sistema de coordenadas, y se recomienda por tanto que se mantengan las distancias programadas y que la dirección 'norte' del Wadi se haga corresponder con la dirección de la medida inicial.

Figura 11.37: Direcciones de la anomalía/antena/perfil, VLF.

Los resultados pueden presentarse de dos maneras, reales o imaginarios, y cada uno se puede filtrar o no. La curva filtrada real proporciona una interpretación inicial e indica las anomalías observadas en el campo. Para una buena interpretación (Figura 11.38), se debe cubrir completamente la anomalía. El signo (+ o -) de la curva imaginaria depende en gran medida del espesor de las formaciones superficiales y de su conductividad. Es necesario, por tanto, procurar observar la amplitud de la curva más que su signo.

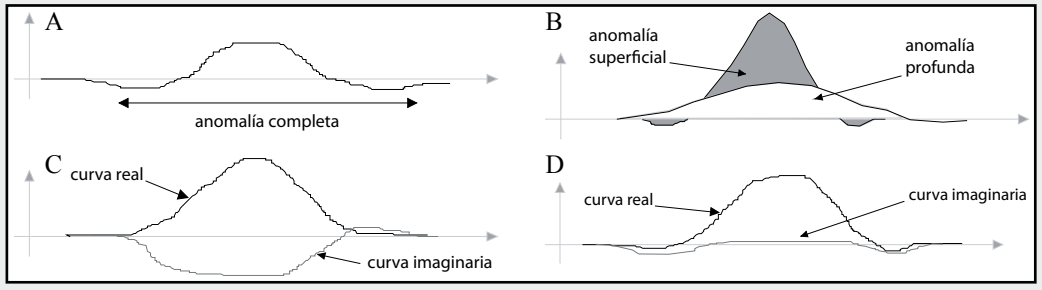
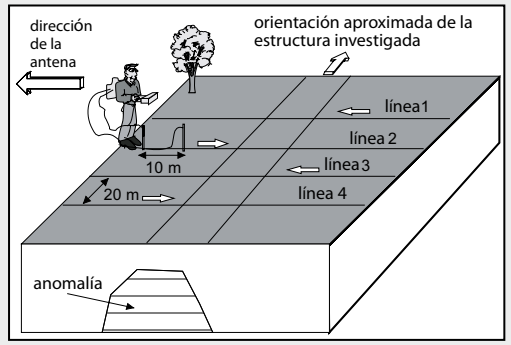


Figura 11.38: Curvas reales e imaginarias de anomalías detectadas con Wadi.
A: Curva real de una anomalía observada.
B: Modificación de la forma de una curva real de acuerdo a la profundidad de la anomalía.
C: Comparación de curvas reales e imaginarias para el caso de una parte imaginaria de gran amplitud, indicativa de la existencia de una anomalía de alta conductividad (agua salina, arcilla, etc.).
D: Comparación de curvas reales e imaginarias para el caso de una parte imaginaria que se aproxima al valor cero, indicativa de la presencia de un suelo muy poco conductor (fractura llena de agua ligeramente mineralizada).

Trabajando con TVLF

Se toma una serie de perfiles paralelos orientados en la dirección de la antena y perpendiculares a la estructura de interés. En ausencia de indicación alguna sobre la dirección de las estructuras (sin indicadores geomorfológicos, afloramientos, etc.) se toma un par de perfiles usando dos antenas dispuestas en ángulos rectos, y se utiliza la frecuencia de la antena que da mayor información.

En todos los casos, es preferible seleccionar solo una frecuencia (antena) para cada serie de medidas. Las direcciones de los perfiles se deben verificar con una brújula y los datos se deben introducir con rigor en el TVLF. Por



ejemplo para registrar un perfil de 300 m se sugiere situar estaciones en intervalos de 10 m, con un espaciamiento entre los perfiles de 20 m (Figura 11.39). Si el perfil no. 1 se define como LINE = 00100 m, el perfil no. 2 será LINE = 00120 m. En el momento de la captación de los datos, STATION 10 de LINE 00120 corresponderá a STATION 290 (perfil de 300 m) de LINE 00100.

Figura 11.39: Perfil TVLF en modo de resistividad.

4.3.4 EL MÉTODO SLINGRAM

Este método consiste en la medida de la relación de la señal emitida por un transmisor y la detectada en un receptor situado a pocos metros o a unas decenas de metros (Figura 11.40).

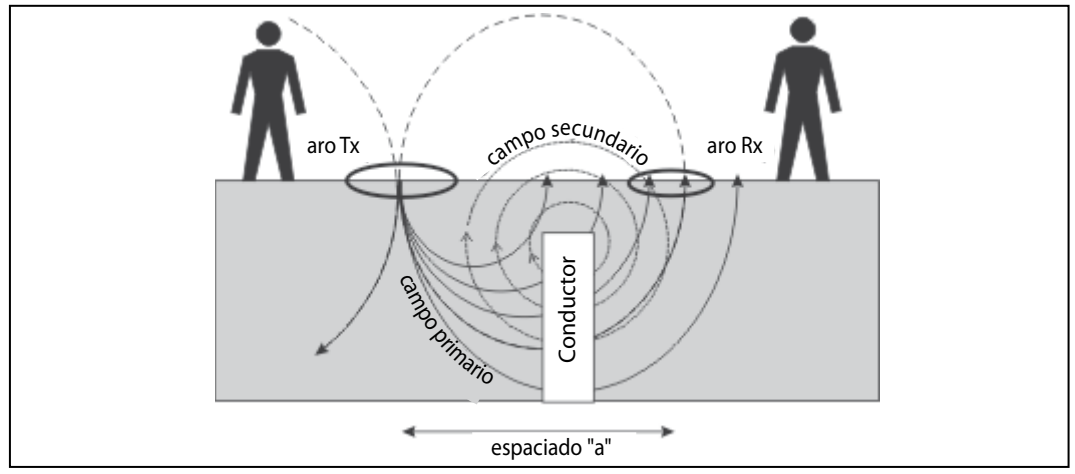


Figura 11.40: Configuración Slingram (VD), EM 34.

El transmisor y el receptor usados por ACF (Geonics EM34) son aros de cable de un metro de diámetro más o menos. Las medidas se pueden hacer en tres frecuencias (6,4, 1,6 y 0,4 kHz) correspondientes a tres distancias transmisor-receptor (a = 10, 20 y 40 m) y usando dos orientaciones: el dipolo horizontal (HD), en el que el transmisor y el receptor se colocan verticalmente en el mismo plano, y el dipolo vertical (VD) con el transmisor y el receptor horizontales en el mismo plano.

Estas diferentes configuraciones proporcionan una variación en la profundidad de investigación que va desde unos pocos metros (HD y a = 10 m) hasta unas pocas decenas de metros (VD y a = 40 m).

Con este método se pueden construir perfiles de resistividad aparente o mapas de iso-resistividad aparente.

La figura 11.41 muestra dos mapas realizados por ACF en el norte de Uganda (Gulu), en una zona de roca de base de granito-gneis erosionada. Todas las medidas se hicieron con el mismo espaciamiento receptor/transmisor (a = 20 m), pero usando las dos configuraciones, dipolo horizontal (HD) y dipolo vertical (VD). Los mapas revelan claramente la presencia (a una profundidad de unos 20 m según la configuración VD) de una zona conductiva al este, que se corresponde probablemente con una zona arcillosa erosionada, mientras que una zona de mayor resistividad al oeste podría ser un acuífero.

La figura 11.42 corresponde a dos perfiles hechos con el equipo EM 34 sobre la abscisa x=0 de la figura 11.41. Sobre el mismo gráfico se muestra también un RP obtenido usando la configuración Wenner con distancia AB/2=40 m. Las profundidades de investigación del RP y las medidas VD del equipo EM34 son comparables, y la información suministrada por los perfiles es similar. Pero el perfil EM es mucho más rápido (500 m por hora en estas condiciones comparado con 200 m por hora para el RP) y se requiere solo dos operarios (1 para el receptor y 1 para el transmisor) comparado con los 4 operarios requeridos para el RP (1 para cada electrodo).

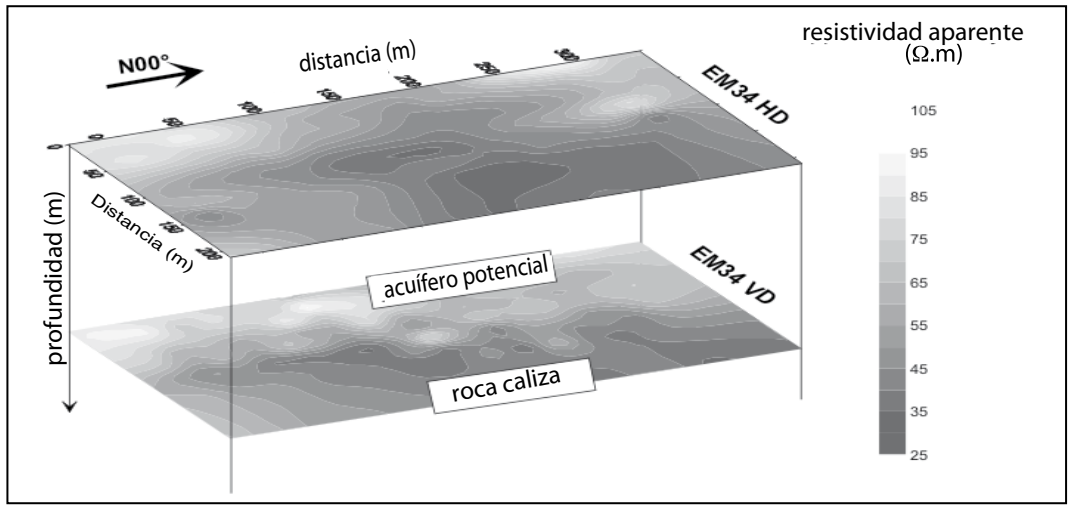


Figura 11.41: Mapa de iso-resistividad aparente (ACF, Uganda, 1999). EM34 a = 20 m, espaciamiento de 20 m.

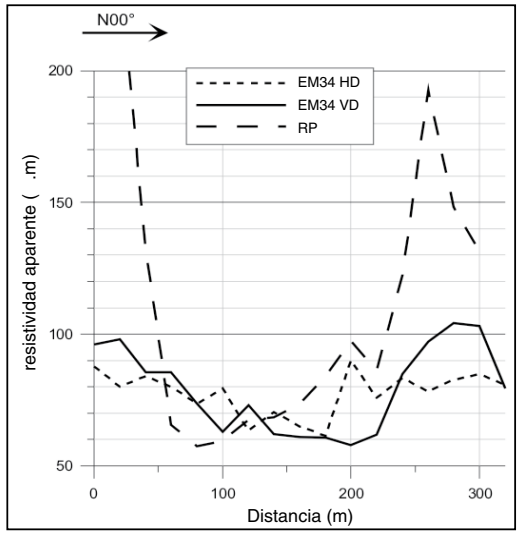


Figura 11.42:
Comparación entre los perfiles RP y EM34. Perfil registrado sobre la abscisa x=0 de la Figura 11.41. EM34 a = 20 m, RP a = 40 m, espaciamiento de 20 m.

El método Slingram puede ser preferible al RP para investigaciones de poca profundidad (10 a 40 m máximo) cuando la formación superficial no es muy conductiva. Si no es este el caso, la profundidad de la prospección es demasiado escasa para alcanzar estructuras hidrogeológicas típicas de interés. Por otra parte, este método es más versátil que el VLF (se pueden hacer medidas fácilmente a varias profundidades, no da problemas con la orientación del perfil, etc.) y, al contrario del método VLF, no depende de un transmisor externo cuya señal puede ser difícil de captar.

4.3.5 PROSPECCIONES TDEM

El método TDEM (Time Domain Electro-Magnetism) difiere de los métodos Em descritos anteriormente, en que la profundidad de investigación varía con el tiempo (más que con la frecuencia, como sucede en los otros métodos presentados). Es la forma más fácil de realizar prospecciones a gran profundidad.

Como transmisor (Tx) se suele usar un cable eléctrico en forma de cuadrado (Figura 11.43). Se coloca sobre el suelo y sus dimensiones se escogen según la profundidad de investigación requerida (generalmente la longitud del cuadrado es de 40 m. para pequeñas profundidades y de 200 m. para grandes profundidades). Se hace pasar una corriente de onda cuadrada (de 1 a 30 A) a través del transmisor; se interrumpe de repente para provocar una variación en el flujo del campo magnético primario, que a su vez produce corrientes inducidas en el suelo (corrientes de Foucault). La amplitud de estas corrientes inducidas disminuye rápidamente con el tiempo. Esta disminución genera, a su vez, otra corriente inducida pero a mayor profundidad. La excitación primaria es, por tanto, capaz de propagarse a mayores profundidades.

Estas corrientes inducidas generan campos magnéticos secundarios que se pueden medir en la superficie. A medida que con el tiempo las corrientes penetran a mayores profundidades, la medida en la superficie del campo secundario a diferentes tiempos da información procedente de diferentes profundidades. El receptor (Rx) es generalmente un aro simple de cable colocado en el suelo que puede ser el mismo al usado anteriormente como Tx.

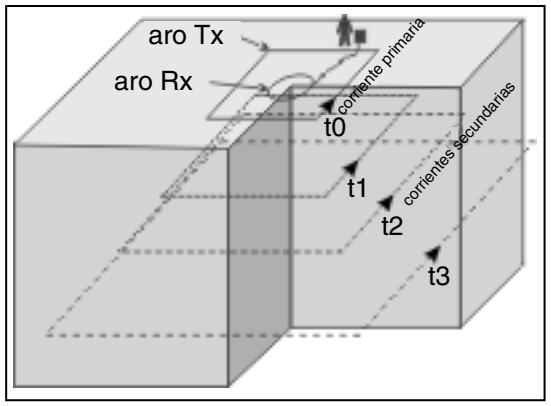


Figura 11.43: Principio de la prospección TDEM. Las líneas de trazos representan las corrientes secundarias a distintos tiempos (t1, t2, t3…) tras el corte de la corriente primaria (t0).

La velocidad de inyección de la corriente primaria se escoge en función de la profundidad de investigación requerida. En la práctica, las medidas empiezan lo antes posible tras el corte de la corriente primaria con el fin de no perder la información inicial correspondiente a las formaciones menos profundas.

El proceso se controla desde un aparato transmisor/receptor que registra el conjunto de medidas. El tiempo aproximado de preparación para una prospección TDEM es de unos 30 minutos con dos operarios y el tiempo empleado en las medidas es de unos 15 minutos. La profundidad de investigación máxima oscila entre 100 y 300 m dependiendo de las dimensiones del aro Tx, la amplitud de la corriente primaria y el nivel local de ruido EM.

ACF ha usado dos tipos de equipo: el sistema Protem (de Geonics, Figura 11.44) y el sistema Temfast (http://www.aemr.net). El Protem puede tener una potencia mayor (1 a 30A dependiendo del generador) pero tiene peso total que oscila entre 50 kg (con una batería de 12V como generador) a 100 kg (con un generador AC 220V), mientras que el Temfast produce una corriente primaria de 1 ó 4 A, dependiendo del modelo, con un peso total de menos de 10 kg.

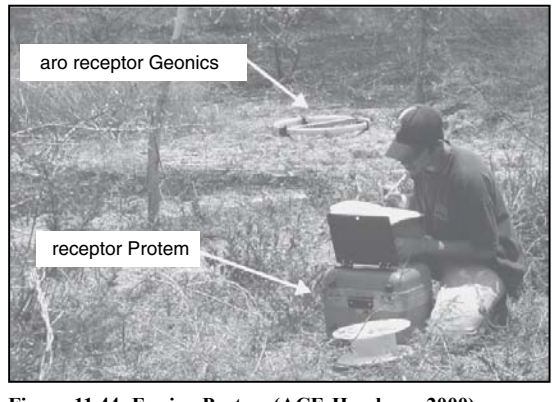


Figura 11.44: Equipo Protem (ACF, Honduras 2000).

La interpretación de los resultados se realiza en la base, usando programas de ordenador. El procedimiento es similar al usado en la interpretación de los sondeos eléctricos, da familias de curvas: registros de campo (voltaje/tiempo y resistividad aparente/tiempo) y curvas interpretadas (resistividad calculada/profundidad y equivalencias).

La Figura 11.45 muestra un ejemplo de una prospección TDEM realizada por ACF en Camboya sobre un tipo de formación arena arcillosa, usando un aro Tx de 75 m en cada lado, y un aro receptor de un área de 31.4 m^2. Esta prospección cubre cuatro niveles, el primero de ellos, de 0 a 40 m de profundidad, muestra la mayor resistencia (= 80 Ωm) y puede tener agua, mientras que los otros son muy conductivos y son probablemente arcillosos (20 a 2 Ωm).

Este ejemplo ilustra claramente las ventajas y desventajas del método en la configuración usada por ACF. Es rápido y fácil de llevar a cabo, proporciona prospecciones de bastante profundidad (sin estacas que clavar ni cable que desplegar) y da mejor resolución en formaciones conductivas que los métodos DC. Sin embargo, TDEM no es capaz de distinguir la capa más superficial a causa del tiempo de corte de la señal primaria, que, aunque sea muy breve, no permite empezar instantáneamente las medidas del campo inducido. En la Figura 11.45, por ejemplo, la primera capa analizada tiene 40 m de espesor con una resistividad de 80 Ωm, pero se compone en realidad de diferentes niveles. Usando un aro de menores dimensiones, se puede reducir el tiempo de corte de la señal primaria y, por tanto, empezar antes las medidas, pero aun así no es posible obtener una imagen detallada de los primeros 5 a 10 m. TDEM no funciona bien en ambientes con resistencia elevada, donde se produce una inducción escasa o nula.

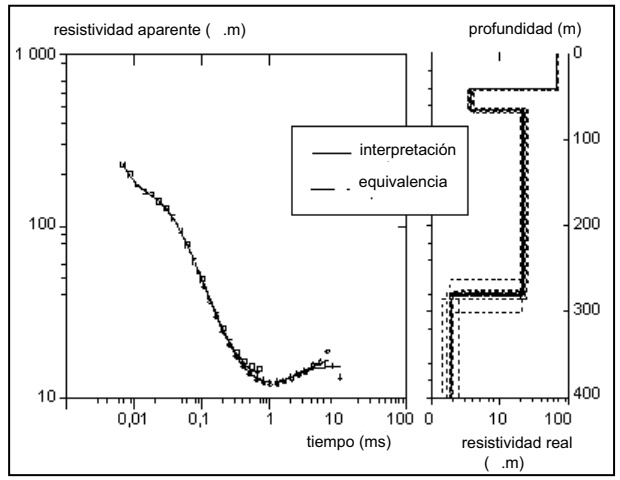


Figura 11.45: Ejemplo de una prospección TDEM (ACF, Camboya, 1998).

4.4 Prospección por Resonancia Magnética

La principal ventaja del método (MRS, *Magnetic Resonance Sounding*), comparado con otros métodos geofísicos de prospección de aguas subterráneas es que la señal que se mide proviene de moléculas de agua subterránea: esto reduce el grado de ambigüedad en la interpretación de los datos, puesto que cualquier señal que se detecte prueba la presencia de agua subterránea.

El método se desarrolló en Rusia a principios de los años ochenta. Inicialmente el MRS proporcionó solo la geometría y el contenido en agua de las capas saturadas de agua. Entre 1999 y 2003, ACF llevó a cabo un programa de investigación sobre MRS, en colaboración con varios socios, probando que es también posible estimar la capacidad de almacenamiento y la transmisividad de los acuíferos a partir de datos MRS calibrados usando datos hidrogeológicos.

ACF considera que MRS es hoy por hoy una herramienta muy útil (y específica) para caracterizar las zonas saturadas de los acuíferos.

4.4.1 PRINCIPIO DEL MÉTODO

Se sabe de la física nuclear que el núcleo de hidrógeno (protón) posee un momento angular y un momento magnético μ. En un campo magnético homogéneo B_0 (como el campo geomagnético de la Tierra) el protón actúa como un dipolo magnético y experimenta un momento de torsión que intenta alinearlo con la dirección del campo. Por tanto el momento angular del protón causa un movimiento de precesión de μ alrededor de B_0 con una velocidad angular ω_0 conocida como la frecuencia Larmor (Figura 11.46A).

Para llevar a cabo una prospección, se crea un campo energético B_1 en un aro transmisor por medio de una pulsación de corriente que oscila en la frecuencia de Larmor. En el momento de la resonancia, es decir, cuando la frecuencia de la descarga coincide con la frecuencia Larmor local, tiene lugar una interacción entre el momento angular del núcleo y el campo de excitación B_1, que desvía el momento magnético μ de su posición de equilibrio (Figura 11.46B).

Cuando se corta el campo de excitación B_1, el momento magnético retorna a su posición de equilibrio, enviando una señal de resonancia magnética, que se detecta por el aro receptor (Figura 11.46C). Esta señal tiene una envolvente exponencial que disminuye con el tiempo (Cuadro 11.4). Se pueden obtener tres tipos de información de esta señal de relajación:

– su amplitud inicial está directamente relacionada con el número de núcleos de hidrógeno y por consiguiente con la cantidad de agua subterránea;

– la constante del tiempo de relajación de la señal de relajación está relacionada con el tamaño medio de los poros que contienen agua, y por tanto con la porosidad;

– el cambio de fase entre la señal de relajación y la corriente de excitación está relacionado con la resistividad del suelo.

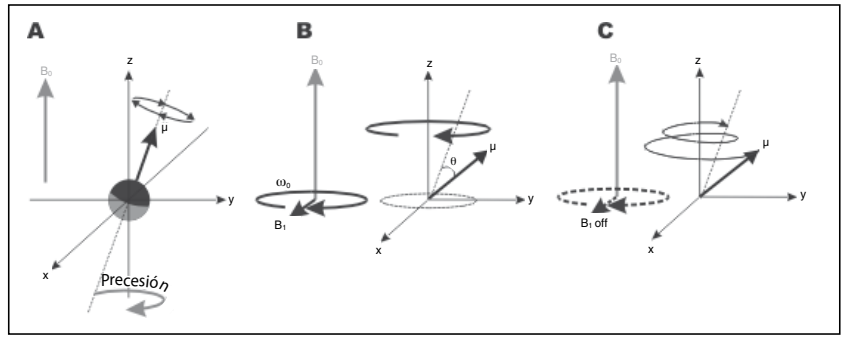


Figura 11.46: Principio MRS. A: movimiento de precesión del núcleo de hidrógeno alrededor del campo estático B_0. B: excitación del núcleo de hidrógeno por un campo oscilante B_1. C: relajación del núcleo de hidrógeno.

Tras la interpretación de los datos MRS de campo, se obtienen dos parámetros geofísicos: la variación en el contenido de agua y el tiempo de relajación con la profundidad (Figura 11.47). Si se lleva a cabo un proceso de calibración, es decir si se hacen algunas medidas MRS en sondeos de litología y pruebas de aforo conocidas, se pueden obtener dos patrones hidrogeológicos a partir de los parámetros geofísicos: la capacidad de almacenamiento local del acuífero y la transmisividad.

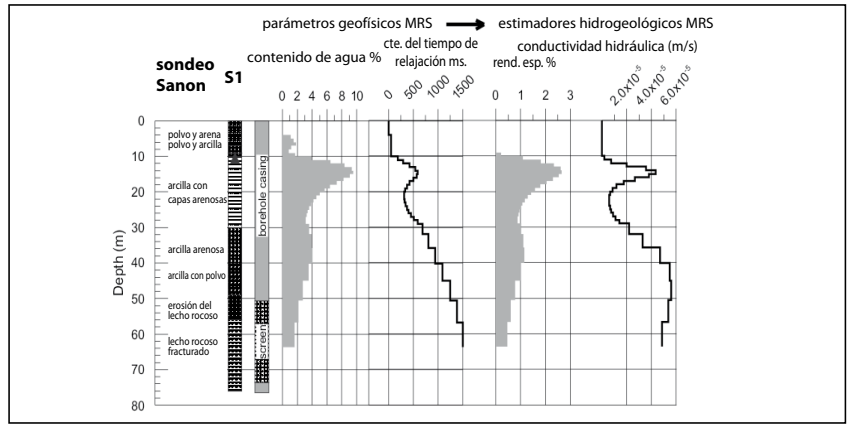


Figura 11.47: parámetros geofísicos MRS (el tiempo de relajación presentado es T_1, ver Cuadro 11.4) e indicadores hidrogeológicos, ejemplo de Sanon S1 Sondeo en Burkina Faso, granito meteorizado (ACF, 2002).

4.4.2 REALIZACIÓN DE MEDIDAS

Para generar las pulsaciones de excitación, se coloca en el suelo un aro de alambre eléctrico y se le suministra una pulsación de corriente alterna a la frecuencia de Larmor (Figura 11.48). La frecuencia Larmor depende de la amplitud del campo geomagnético local (Cuadro 11.4) que necesita ser medido en el lugar de la prospección usando un magnetómetro común de protones (Figura 11.49A). La figura 11.50 muestra la frecuencia Larmor teórica calculada para el año 2002 a nivel del mar.

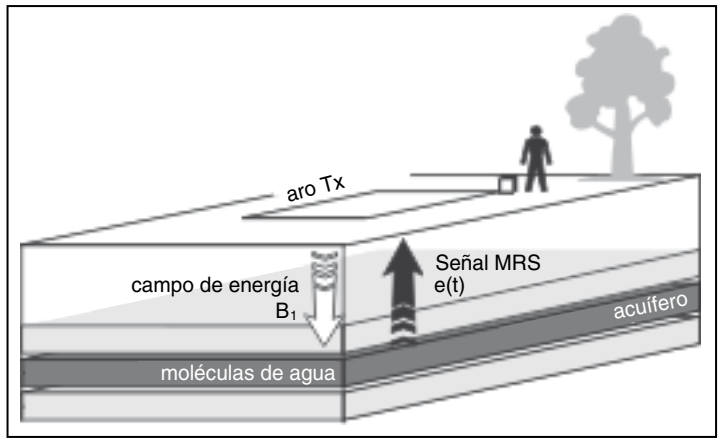


Figura 11.48: Diagrama esquemático para una configuración MRS.

Para realizar una prospección, es decir, para hacer medidas a varias profundidades, se aumenta la amplitud de la corriente de excitación: cuanto mayor sea la amplitud (la intensidad de la corriente), mayor será la profundidad investigada. Generalmente se usan 16 profundidades en una prospección típica. Cuando se desconecta la pulsación de excitación, la señal de resonancia magnética se registra en el mismo aro para cada profundidad. El único equipo comercial MRS disponible es el *Numis range* (de Iris Instruments, Figura 11.50B). El modelo usado por ACF para fines hidrogeológicos es un sistema potente llamado Numis Plus. Se maneja con un ordenador portátil que ordena las secuencias de excitación y de registro.

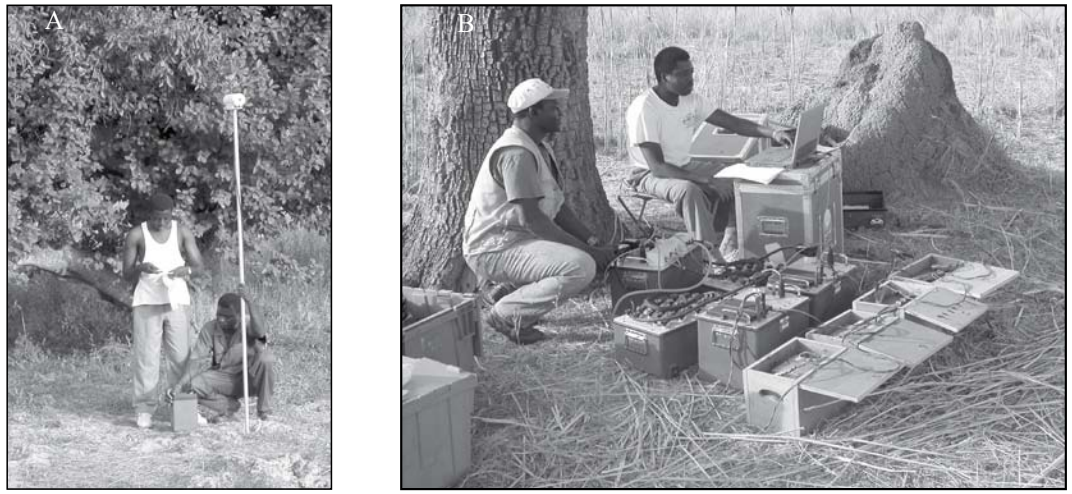


Figura 11.49: Equipo MRS.
A: medida del campo geomagnético usando un magnetómetro de protones. B: Equipo Numis Plus, ACF 2002.

El aro Tx/Rx tiene normalmente forma cuadrada (fácil de instalar en el campo) con longitudes de lado de entre 40 y 150 m. En una localización determinada, esta longitud determina la profundidad máxima de investigación, que de hecho es prácticamente igual a la longitud del lado.

El tiempo necesario para efectuar una medida MRS depende principalmente de la relación entre señal local y ruido: fue de alrededor de 1 hora en Camboya (sedimentos no consolidados) y de alrededor de 20 horas en Burkina Faso (granito meteorizado). El peso total del equipo usado es de unos 350 kg, por lo que se requiere un vehículo para su transporte. Lo más conveniente es disponer de un equipo de cuatro operarios, dos operarios no cualificados, un geólogo de campo para dirigir la instalación del aro, y un hidrogeofísico para dirigir la totalidad del proceso MRS. La experiencia de ACF es que se puede capacitar a un equipo local para que sea capaz de realizar ensayos MRS estándar de forma independiente en un mes.

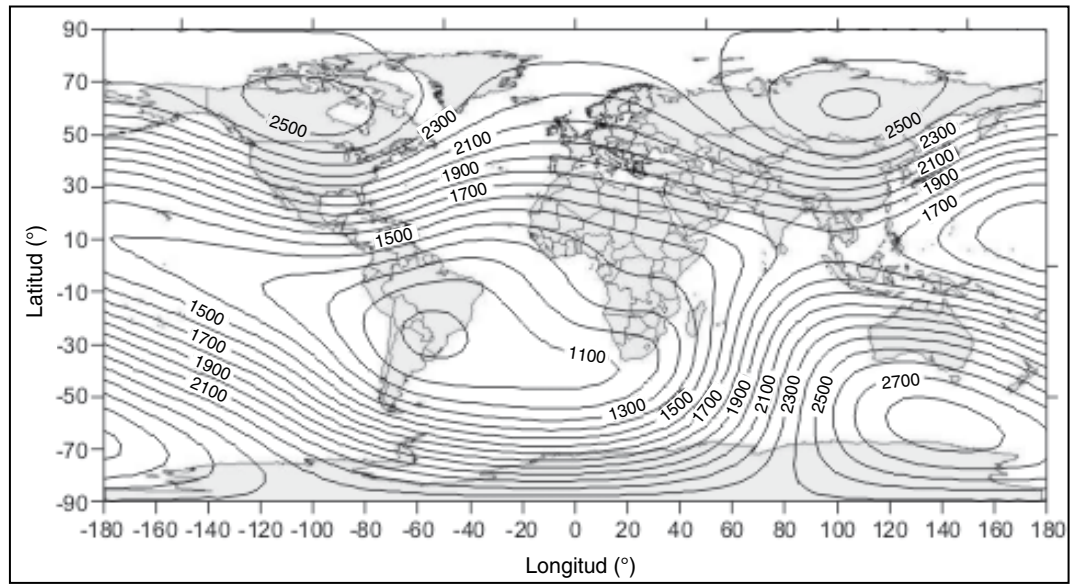


Figura 11.50: Frecuencia teórica Larmor, año 2002 a nivel del mar.

4.4.3 INTERPRETACIÓN

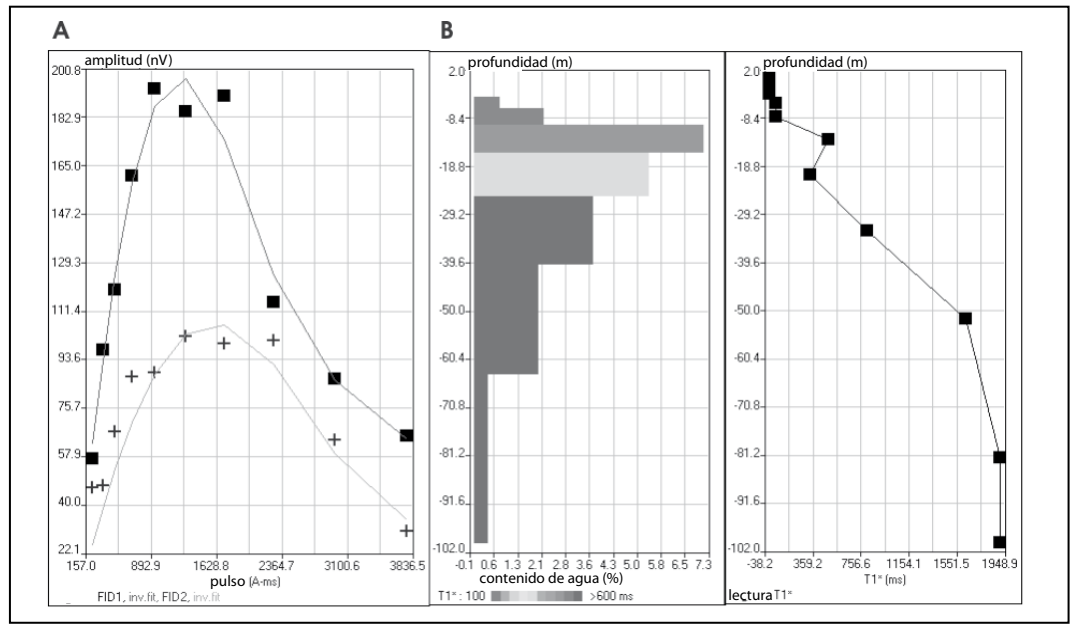


Figura 11.51: Curvas MRS. A: registro de campo (datos sin procesar). B: curvas de interpretación geofísica, ejemplo del sondeo Sanon S1 en Burkina Faso, granito meteorizado (ACF 2002).

Tras el periodo de obtención de datos, su interpretación se realiza en el terreno en cuestión de pocos segundos usando programas de ordenador de inversión incluidos en el paquete del equipo (Samovar). Las principales curvas que se obtienen son:

– la curva de prospección, que es la amplitud inicial de la señal de relajación como función del momento de pulsación (p. ej.: profundidad puntual, ver Cuadro 11.4). Esto proporciona, en términos cualitativos, la cantidad de agua subterránea como una función de la pseudo-profundidad (Figura 11.51A);

– registro de curvas en el campo, que ayudan a verificar la calidad de los registros y la calidad del ajuste de modelo;

– curvas de interpretación geofísica, mostrando el contenido en agua y el tiempo de relajación en función de la profundidad (Figura 11.51B).

Si se realiza un proceso de calibración, se pueden obtener estimadores hidrogeológicos a partir de parámetros geofísicos, por ejemplo, la capacidad de almacenamiento local y la transmisividad del acuífero (Figura 11.47).

ACF ha evaluado la calidad de la caracterización de acuíferos por MRS en varios contextos geológicos. La geometría, la capacidad de almacenamiento y la transmisividad de los yacimientos saturados medidos con MRS se han comparado con los obtenidos de sondeos y pruebas de aforo. Los principales resultados se indican a continuación:

Geometría de un yacimiento saturado

La Figura 11.52 muestra la comparación entre una geometría unidimensional de yacimientos saturados estimada con MRS y la geometría estimada a partir de la litología del sondeo. La posición de la parte superior del yacimiento saturado se estima por MRS con una diferencia promedio de 24%, es decir, 3,9 m, respecto a la dada por el sondeo y el fondo del acuífero se estima con una diferencia promedio de 13%, es decir, 11,4 m. Estos resultados indican que el MRS da una imagen bastante aproximada de la geometría de la zona saturada, pero no puede reemplazar los métodos piezométricos. De hecho, MRS no da información alguna de los niveles estáticos, sólo de las profundidades de las zonas saturadas: los dos son equivalentes en acuíferos no confinados, pero son por supuesto diferentes en los acuíferos confinados.

Parámetros geofísicos: contenido de agua y tiempo de relajación

Por comparación con la porosidad total, el contenido en agua MRS se define como

$$w = \frac{V_{long}}{V_{total}} \cdot 100$$

donde V_{long} es el volumen de agua con una constante de relajación suficientemente grande (T_2*, ver cuadro 11.4) y V_{total} es el volumen total de la muestra. El contenido en agua MRS difiere de la porosidad total del medio saturado porque el efecto de relajación puede hacer que la señal MRS sea demasiado corta como para ser detectada por el equipo (el tiempo muerto del instrumento a día de hoy es de 40 ms). Teniendo en cuenta que el tiempo de relajación es mayor para el agua que fluye (entre decenas y miles de ms) que para el agua que no se mueve (desde unidades a decenas de ms), el contenido en agua MRS es una estimación aproximada de la porosidad cinemática del acuífero.

Se pueden estimar dos constantes de disminución del tiempo a partir de los registros MRS (Cuadro 11.4). La experiencia de ACF indica que T_1 es la más útil a efectos hidrogeológicos y es la que se debe estimar. T_1 va relacionada al tamaño medio de los poros que contienen agua: a mayor tamaño promedio de poro, mayor T_1.

Parámetros hidrogeológicos: Capacidad de almacenamiento, permeabilidad (conductividad hidráulica) y estimadores de transmisividad.

El contenido en agua w(z) y el tiempo de relajación $T_1(z)$ deducidos de los registros MRS se pueden usar para estimar la capacidad de almacenamiento S, la conductividad hidráulica K y la transmisividad T de los acuíferos:

En acuíferos confinados, la capacidad de almacenamiento se puede representar por el coeficiente de almacenamiento: $S_{MRS} = (w \cdot \Delta z) \cdot C_1$

En acuíferos no confinados, la capacidad de almacenamiento es casi exactamente igual al rendimiento específico, representado por $n_{e_MRS} = w \cdot C_2$

La conductividad hidráulica se puede estimar como $K_{MRS} = C' \cdot w(z) \cdot T_1^2(z)$

La transmisividad se calcula por tanto como $T_{MRS} = \int_{\Delta z} K_{MRS}(z) \cdot dz$

donde w es el contenido en agua MRS, T_1 la constante de disminución longitudinal, Δz el espesor del acuífero y C_1, C_2 y C' constantes empíricas que se han de determinar a partir de los datos de test de bombeo.

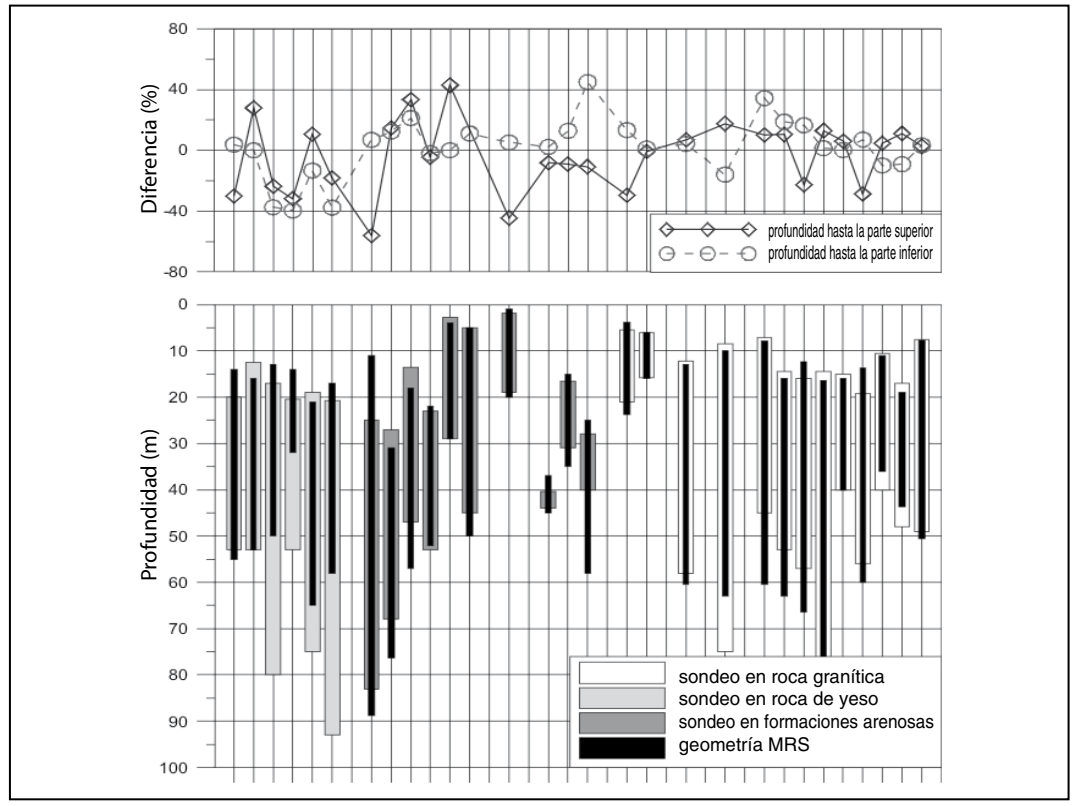


Figura11.52: Comparación entre la geometría de un yacimiento saturado según se estima por el método MRS y a partir de los sondeos.

ACF proponen algunos valores empíricos para las constantes, pero se han de realizar nuevas calibraciones para contextos geológicos nuevos y otras localizaciones (Tabla 11.IX y Figura 11.53).

Tabla 11.IX: Constantes empíricas usadas para la calibración de estimadores MRS hidrogeológicos.

	C_1	C_2	C'
Granito meteorizado en Burkina Faso	$4{,}3 \times 10^{-2}$	0,28	$1{,}3 \times 10^{-9}$
Sedimentos no consolidados (limo, arena, grava) en Francia y en Birmania	$2{,}4 \times 10^{-4}$		$4{,}9 \times 10^{-9}$
Yeso en Francia			$3{,}5 \times 10^{-8}$

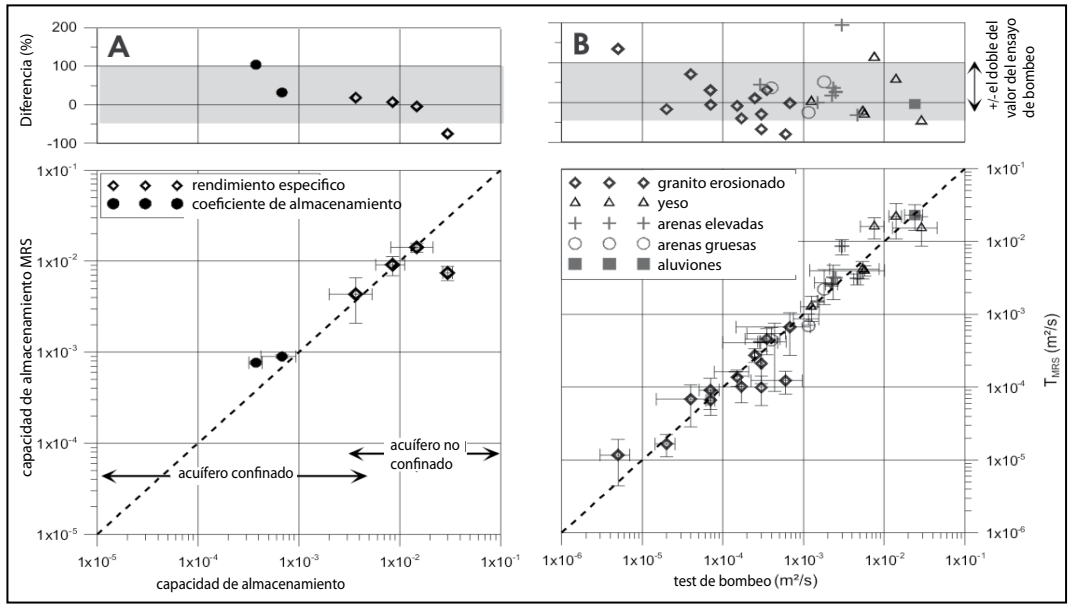


Figura 11.53: Estimadores hidrogeológicos MRS. A: Estimadores de la capacidad de almacenamiento para granito meteorizado en Burkina Faso. B: Estimador de transmisividad.

El estimador de transmisividad es bastante robusto – da una estimación de la productividad que es igual, con un factor de 2, al valor dado por el test de bombeo en el 75% de los casos. Además, su rango de valores de transmisividad es amplio, correspondiendo a salidas desde unos pocos centenares de litros por hora ($T = 10^{-6}$ m²/s) a varios centenares de metros por hora ($T = 0{,}1$ m²/s).

Los estimadores de la capacidad de almacenamiento requieren confirmación adicional (los datos de calibración son insuficientes) y son más difíciles de usar, porque uno necesita saber *a priori* si el acuífero es confinado o no confinado con el fin de usar el estimador correcto (rendimiento específico o coeficiente de almacenamiento).

Análisis cualitativo: estimadores de permeabilidad y transmisividad

Si no se puede llevar a cabo el proceso de calibración, bien porque el contexto geológico no es obviamente unidimensional a la escala de observación o porque no hay datos disponibles de test de bombeo, se puede hacer una aproximación cualitativa usando dos estimadores para caracterizar el agua subterránea:

Un estimador de permeabilidad se puede calcular como:

$$kx(z) = \frac{w_x(z) \cdot T_{lx}^2(z)}{w_r(z) \cdot T_{lr}^2(z)}$$

Y un estimador de transmisividad se puede calcular como:

$$Tx = \frac{\int_{\Delta z} w_x(z) \cdot T_{lx}^2(z) \cdot dz}{\int_{\Delta z} w_r(z) \,.\, T_{lr}^2(z) \,.\, dz}$$

donde x y r son dos de las *n* estaciones MRS *(1, x, r , n)*. La estación de referencia r se puede seleccionar de modo que $k_{xmax}(z) \leq 1$ ó $k_{xmax}(z) \leq 1$ para todos los sondeos *(x=1 a x=n)*.

Los estimadores kx (estimador k) y T_x (estimador T), que son estimadores normalizados para la permeabilidad y la transmisividad, se pueden usar como indicadores de contraste para comparar varios (n) sondeos. Se muestra un ejemplo de este enfoque cualitativo en los ejemplos de campo incluidos en el capítulo.

Cuadro 11.4
Principios de MRS.

El núcleo de hidrógeno, es decir, un protón, tiene un momento angular S y un momento magnético μ. Ambas cantidades vienen relacionadas por la expresión $\mu = \gamma \cdot S$, donde la relación giromagnética γ es una constante característica del núcleo de hidrógeno. En un campo magnético homogéneo B_0, el momento angular del protón origina un movimiento de precesión μ alrededor de B_0 con una velocidad angular conocida como la frecuencia Larmor $\omega_0 = \gamma B_0/2\pi$.

Para alcanzar la condición de resonancia, se genera un campo energético B_1 de frecuencia igual a la frecuencia local Larmor en un aro transmisor por una pulsación de corriente alterna $i(t) = I_0 \cos(\omega_0 t), 0<t\leq\tau$, donde I_o y τ son respectivamente la amplitud de la pulsación y la duración. Por tanto, tiene lugar una interacción entre el momento angular del núcleo y el campo de excitación B_1, desviando el momento magnético μ de su posición de equilibrio.

Cuando el campo de excitación B_1 se interrumpe, el momento magnético retorna a su posición de equilibrio, enviando una señal de relajación, que se registra en un aro receptor. Esta señal oscila en la frecuencia Larmor y tiene una envolvente exponencial que disminuye con el tiempo, que puede aproximarse por (Figura 11.54A):

$$e(t,q) = E_0(q) \exp(-t/T_2^*(q)) \cos(w_0 t + \square_0(q)) \qquad (1)$$

donde $q = I_0\tau$ es el parámetro de la pulsación que transmite energía, □ es la fase, T_2^* es el tiempo de relajación de la señal (llamado tiempo de relajación transversal en la terminología común) y $E_o(q)$ es la amplitud de la señal inicial:

$$E_0(q) = w_0 M_0 \int_V B_{1\perp} \sin(1/2\gamma_p B_{1\perp} q) w(r) dV(r) \qquad (2)$$

donde M_o es la magnetización nuclear de los protones, $B_{1\perp}$ es el componente del campo magnético primario (normalizado a 1A) perpendicular al campo estático B_0, r es el vector de la coordenada y w(r) el contenido en agua.

De las ecuaciones (1) y (2) se comprende que:

– La amplitud inicial de la señal E_0 está relacionada con el contenido en agua w(r). Resolviendo la ecuación (2) se llega a una estimación directa del contenido en agua del volumen investigado.

– La contribución espacial de la señal viene determinada por q, es decir, la profundidad de la investigación viene determinada por la intensidad de la pulsación I_0 (manteniendo la pulsación de duración constante).

– La señal disminuye con el tiempo a una velocidad determinada por T_2^*. Esta constante está relacionada con el tamaño medio de poro que contiene agua, pero viene también influida por las heterogeneidades del campo estático, inducidas a menudo por las propiedades magnéticas de las rocas.

Para tener acceso a un parámetro más fiable relacionado con el tamaño de poro, se puede usar una secuencia de excitación modificada usando dos pulsaciones, conocida como recubrimiento de saturación (Figura 11.54B). Esto da una estimación de T_1 (llamada generalmente tiempo de relajación longitudinal), que está relacionado con el tamaño medio de poro del acuífero: $T_1 = V_\rho/\rho \cdot S_\rho$ donde Vp y Sp son el volumen y el área superficial del poro, y ρ la relajación superficial de las rocas.

Cuando se interrumpe la pulsación de excitación, la señal de resonancia magnética se registra por medio de la antena para cada pulsación q. Asumiendo una estratificación horizontal, se usa una forma modificada de las ecuaciones (1) y (2) para convertir las cantidades registradas de E_0 (q) y T_2^*(q) en contenido en agua w(z) y tiempos de relajación T_2^*(z) y T_1(z) como una función de la profundidad.

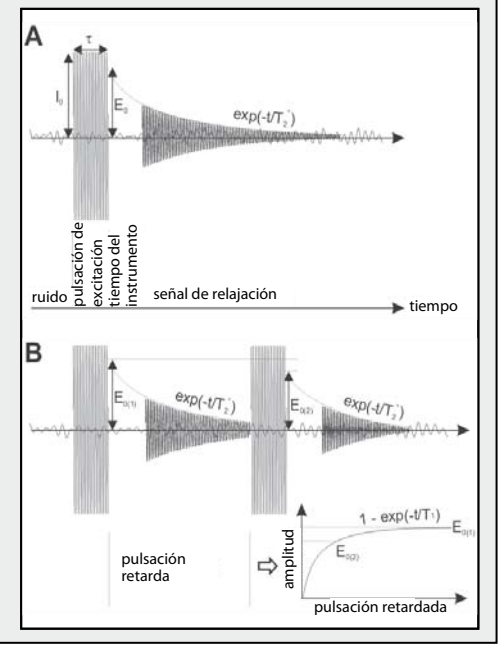


Figura 11.54: Secuencia de la señal MRS en el tiempo. A: secuencia de una pulsación única (estimación de T_2^*). B: secuencia de una pulsación doble (estimación de T_1).

Principales factores limitantes en MRS

Al igual que todos los métodos geofísicos, MRS tiene varias limitaciones:

– *Equivalencias*: dos modelos son equivalentes cuando dan la misma señal. En MRS, las capas 1 y 2 son equivalentes si el producto del espesor saturado y la concentración de agua son similares en ambas. En otras palabras, no se puede determinar simultáneamente la concentración de agua y el espesor de la capa saturada.

– *Resolución y profundidad de la prospección*: la resolución es la capacidad del método de detectar y caracterizar una capa saturada. Es una función de varios factores, incluyendo principalmente la intensidad, el ángulo de inclinación del campo geomagnético, la resistividad eléctrica de la formación y el tamaño del aro Tx-Rx usado. Tomando el ejemplo de un yacimiento pequeño, equivalente a una capa de 1 m de espesor de agua pura, es decir, una capa de arena fina de 6,5 m de espesor con una porosidad cinemática del 15%, o – un modelo equivalente geológicamente – un tubo cilíndrico lleno de agua de 10 m de diámetro, cruzando un aro Tx-Rx de 100-m de lado. En las condiciones más desfavorables (próximo al Ecuador magnético y sobre un suelo conductor) este acuífero se podría detectar con MRS hasta una profundidad equivalente al 40% del diámetro del aro Tx-Rx. En las condiciones más favorables (cerca de los polos magnéticos y sobre un suelo aislante) este mismo acuífero se podría detectar a una profundidad equivalente al 150% del diámetro del aro Tx-Rx. Sin embargo, detección y caracterización no son lo mismo: los errores en la estimación de la concentración de agua y en el espesor de la zona saturada pueden ser grandes, aún a poca profundidad, pero el error en la estimación de su producto (equivalencia) es inferior a 5% para profundidades equivalentes a la mitad del tamaño del aro Tx-Rx y a 15% a mayores profundidades. En el contexto de los programas de ACF, esto significa que generalmente es posible detectar niveles saturados a profundidades de hasta 100 m y caracterizarlos adecuadamente a profundidades de hasta 70 m.

– *Sensibilidad y naturaleza unidimensional*: el volumen máximo que abarca una medida MRS viene dado aproximadamente por un área circular de diámetro 1,5 veces el aro Tx-Rx multiplicado por una profundidad igual al diámetro del aro. Para un aro de 100 m de diámetro, este volumen es de aproximadamente 1,8 millones de m^3. El hecho de que la señal se integre en todo este volumen significa desde luego que el método no puede poner de manifiesto ninguna heterogeneidad contenida en tal volumen, ni detectar señales generadas por unos pocos núcleos de hidrógeno.

– *Supresión*: cuando el volumen de agua es muy pequeño comparado con el volumen explorado por el sondeo, la señal es demasiado débil para poder medirse: esto se conoce como supresión. Esto puede ocurrir en medios fracturados o en formaciones disueltas, que contienen pequeños volúmenes de agua, pero que son de todos modos muy productivas.

– *Rocas magnéticas*: El equipo MRS disponible actualmente mide una señal macroscópica, que es la suma de las señales emitidas por cada núcleo de hidrógeno. Cuando el campo geomagnético es heterogéneo a la escala del sondeo, los núcleos de hidrógeno tienen distintas frecuencias Larmor y esto genera diferencias de fase entre las señales individuales, que pueden reducir suficientemente la constante de tiempo medida como para evitar la medida de la señal resultante. ACF no fue capaz de medir señales MRS en yacimientos muy productivos en Honduras (2000), porque las propiedades magnéticas de las rocas volcánicas presentes perturbaban significativamente el campo geomagnético. Se debe, por tanto, estimar la viabilidad de las medidas antes de llevar a cabo el sondeo (variaciones en la medida del campo en la superficie, susceptibilidad magnética de afloramientos y estabilidad de la frecuencia Larmor).

5 PROCEDIMIENTOS DE PROSPECCION

La secuencia de la prospección se desarrolla como un proceso dinámico en el que las hipótesis de partida se van verificando con la ayuda de los resultados que se van obteniendo. Es en esta etapa cuando empieza una investigación más en detalle de la fuente de agua.

5.1 Sondeos exploratorios

La perforación de un sondeo exploratorio permite verificar hipótesis y suministrar información esencial para tareas tales como verificar interpretaciones VES y calibrar estimadores hidrogeológicos MRS. Facilita también el registro y los ensayos de bombeo.

Cada resultado es una fuente de información: un sondeo seco debe ser "utilizado" igual que uno que no produzca agua, por lo que el razonamiento que llevó a su perforación debe ser revisado o desarrollado. La retroalimentación de lo que se pensó previamente sobre la presencia de agua y los resultados obtenidos aumentan la exactitud de la imagen global.

5.2 Evaluación de los recursos hídricos

Los ensayos de bombeo ayudan a estimar el potencial de los sondeos (aforo), y las características hidráulicas de los acuíferos (aforo de los acuíferos, véase Capítulo XIV). En esta etapa es posible trazar un mapa de las zonas con posibilidades de contener agua subterránea basado en los parámetros (transmisividad y capacidad de almacenamiento) obtenidos a partir de los ensayos de bombeo y de MRS.

El control piezométrico debe ponerse en práctica también en esta etapa. Funciona como una forma de verificar el desarrollo de las fuentes que son objeto de nueva explotación y proporciona una estimación de las variaciones estacionales. Se puede trazar un esbozo del mapa piezométrico para visualizar los flujos de agua subterránea. Este control se puede llevar a cabo al mismo tiempo que se mide la calidad del agua (ver Capítulo V).

El análisis químico del agua subterránea puede suministrar también bastante información sobre el sistema de flujo de agua, así como la relación entre los distintos acuíferos, mecanismos de recarga y la relación entre el agua subterránea y las masas de aguas superficiales (ver Capítulo V).

Finalmente, se crean las bases para la construcción de un balance hidrológico: se deben llevar a cabo medidas de la lluvia y del control piezométrico, estudios de los flujos superficiales y determinación del estudio de la cuenca de captación.

5.3 Archivo de los resultados y métodos analíticos

Para evitar pérdidas de información significativa cuando haya cambios en el personal, y para capitalizar la experiencia adquirida por este personal y compartir información de la forma más efectiva posible, es esencial archivar los resultados de forma relativamente estandarizada. Además, la información debidamente almacenada se tratará con mayor cuidado.

ACF ha desarrollado herramientas para la gestión y análisis de la información hidrogeológica. Este proceso está en evolución constante y las principales herramientas mostradas en la Tabla 11.X son solo una guía.

5.4 Procedimientos de prospección

Para decidir el mejor método de prospección a usar, se deben tener en cuenta todos los elementos presentados en este capítulo, incluyendo: ¿cuáles son las cuestiones hidrogeológicas? ¿qué métodos y herramientas las contestarán mejor? ¿cómo comparar la utilidad de las distintas técnicas posibles?

Desde luego cada contexto es único, pero tomando el ejemplo de un proyecto de ACF en Mozambique, esta sección ilustra cómo organizarse para encontrar el mejor procedimiento a usar para la prospección de agua subterránea.

Tabla 11.X: Herramientas para la gestión y análisis de la información hidrogeológica.

Documentación existente	bibliotecas técnicas con material de referencia sobre varios temas en París y en Madrid descripción de programas e informes archivados en varios lugares experiencia técnica de ACF recogida en forma de manuales e informes específicos
Mapas geológicos	base de mapas geológicos disponible en la oficina de ACF de París, mostrando la mayoría de los países donde ACF trabaja, generalmente a pequeña escala
Programas de ordenador para interpretar test de pozos y acuíferos.	programa de ordenador WHI AquiferTest_Pro testado y recomendado (de Waterloo Hydrogeologic Inc.)
Paquete VES y RP	desarrollado por ACF, contiene medidas de terreno, mapas de presentación de resultados y conjunto de nomogramas Cagniard programa libre IPI2Win para la interpretación y presentación de resultados VES
Programas de ordenador para la prospección geofísica	programa libre IPI2Win recomendado para la interpretación y visualización de VES programa QWSEL® disponible también para interpretación VES programa X2IPI recomendado para la construcción del protocolo ERI y el procesamiento de datos ERI programa RES2DINV recomendado para la interpretación de datos ERI
Base de datos y sistema de información geográfica	modelos realizados con programas Excel® (cantidad de datos limitada, sistema fácil de utilizar) programa Mapinfo® para análisis geográficos (mapa temático)
Equipo	kit de materiales y equipos testado y desarrollado por ACF: Medidor de resistividad Ωmega, registrador de medidas eléctricas, taladros de perforación, kit para test de bombeo (ver Capítulo XIV)

5.4.1 CUESTIONES HIDROGEOLÓGICAS

ACF realizó un programa para obtener suministros de agua potable en la provincia de Sofala de Mozambique desde 1994 a 2001. Hasta diciembre de 2000, se habían construido ya 178 puntos de agua (143 pozos perforados y 35 pozos abiertos) con un promedio de éxito del 44,5%. En el número elevado de sondeos negativos se incluyeron los que estaban secos o los que dieron escaso caudal (Q < 500 l/h), y también los que daban un agua demasiado mineralizada para el consumo humano (12% de los sondeos).

De octubre a diciembre de 2000, se llevó a cabo un estudio, con el objetivo de mejorar el conocimiento sobre los acuíferos y poder, así, desarrollar un método de prospección para incrementar el porcentaje de éxitos en las perforaciones.

– Contexto general del estudio: recopilación de la información disponible e investigaciones adicionales

Los distritos de Caia y Chemba se hallan en el norte de la provincia de Sofala, en la ribera oeste del río Zambeze (Figura 11.55).

La región se halla en la cuenca sedimentaria 'Norte de Save'. Las formaciones geológicas de 'Sena' datan del Cretáceo superior y se componen de una capa de areniscas continentales de hasta 2 500 m de espesor (información de la Dirección Nacional Mozambiqueña de Asuntos del Agua, Figura 11.56). Muestras de arenisca preparadas por ACF en forma de discos finos revelan una formación silícea con cemento cálcico, con escasa o nula porosidad. Esta observación se confirma por el alto número de fracasos de las perforaciones realizadas en la arenisca.

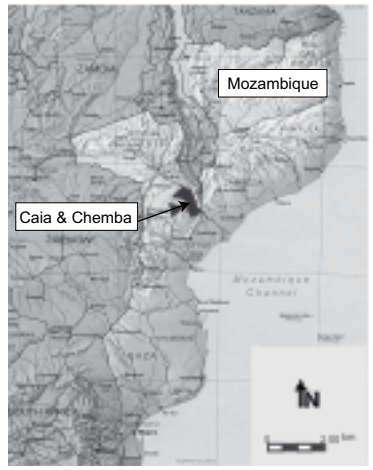


Figura 11. 55: Situación de la zona de estudio en Mozambique.

La región está atravesada por corrientes temporales de ríos que fluyen del oeste-sudoeste al este-nordeste; siendo el río Zambeze su límite este. El análisis de la información obtenida por el programa de sondeos de ACF indica que los sedimentos depositados por estas aguas superficiales constituyen yacimientos de calidad muy variable. Los aluviones del Zambeze son arcillosos en algunos sitios, pero generalmente proporcionan agua poco mineralizada; los sedimentos depositados por los ríos temporales son gruesos pero pueden contener agua con elevado contenido en minerales en el norte, mientras que en el sur los aluviones son menos permeables y el agua está a menudo menos mineralizada.

Figura 11.56: Esquema geológico de los distritos de Caia y Chemba (Mozambique).

ACF recogió muestras de agua en la región (agua de lluvia, superficial y subterránea), y se analizaron los principales iones. La interpretación de los análisis revela que los elevados niveles de minerales en el agua subterránea (conductividad eléctrica del orden de 1 500 a 9 000 µS/cm) se deben a la disolución por la infiltración de agua de los minerales formados recientemente presentes en los horizontes superficiales. Esta interpretación se confirma al observar *in situ* los precipitados carbonatados en las grietas superficiales de la arenisca y por la presencia de halita en las zonas muertas de los ríos temporales, donde hay mucha pérdida de agua por evaporación.

El balance hidrológico medido por ACF, usando datos recogidos de patrones locales concuerda con la observación indicada anteriormente. Todo parece indicar que la zona norte está sujeta a altas tasas de evaporación, lo que explica por qué las aguas subterráneas de la zona están tan mineralizadas (Tabla 11.XI).

No fue posible medir la escorrentía y no se pudo, por tanto, estimar la fracción de filtración efectiva en la escorrentía total. Sin embargo, parece que, a pesar de que la información disponible es desde luego incompleta, el uso de sistemas de extracción limitada (bombas manuales) no afecta significativamente la reposición de agua en los yacimientos, ya que ningún pozo perforado se secó y ni siquiera bajaron sustancialmente los niveles estáticos durante el período 1994 - 2000.

Tabla 11.XI: Conductividad eléctrica del agua y datos hidrológicos (fórmula de Thornwaite, muestras mensuales, período: 1946 a 1955)

Zona	Conductividad eléctrica media del agua subterránea (µS/cm)	Promedio anual de lluvia (mm)	Temperatura media anual (°C)	Escorrentía total anual (mm)
Norte (Chamba)	3700	728	34	56
Sur (Caia)	1500	954	32,3	200

De acuerdo con los resultados de un estudio exhaustivo llevado a cabo por ACF en 1999 y 2000, los distritos de Caia y Chemba tienen poblaciones de 157 000 y 52 000 habitantes respectivamente, de los cuales 27% y 15% respectivamente tienen acceso al agua potable. En este contexto, el acceso al agua potable se define como la posibilidad de que una familia tome agua de un punto construido a estos efectos, que suministre agua potable, situado a menos de una hora de camino y que suministre a un máximo de 300 usuarios (es decir, un promedio de 20 litros de agua por persona y día desde un pozo excavado perforado, equipado con una bomba manual).

El acceso al agua es de importancia crucial para estas poblaciones rurales y el único recurso disponible durante todo el año es el agua subterránea.

Preguntas sobre hidrogeología a encarar cuando se busca agua

Los acuíferos que se necesitan para establecer un nuevo suministro de agua se encuentran en las capas permeables de aluviones y zonas fisuradas y meteorizadas de arenisca donde los niveles de mineralización del agua son lo bastante bajos para proporcionar un agua aceptable para el consumo humano.

Cuando se busca agua, las preguntas que el técnico en prospección ha de hacerse son las siguientes:

– ¿Qué zonas en un radio de 1 km alrededor del asentamiento humano contienen acuíferos?

– En estas zonas, ¿cuál es la geometría de los yacimientos? (¿dónde se perforan los sondeos?)

– ¿Cuáles son sus características hidráulicas? (¿cuál será el caudal del sondeo?) ¿Cuál es la conductividad eléctrica del agua? (¿es potable?)

Los métodos estándar no pueden contestar satisfactoriamente a estas preguntas. El promedio de éxito en los sondeos es bajo (<50%), llegando a ser cero en algunas zonas (mesetas de areniscas). Los métodos geofísicos pueden, a veces, ser capaces de clarificar la situación. El primer paso consiste en seleccionar los métodos geofísicos a usar. Seguidamente se analizan los resultados de los experimentos realizados en el campo para evaluar la utilidad técnica y económica de los métodos, usados individualmente o en combinación con otros. Finalmente, se puede escoger un proceso hidro-geofísico probado.

5.4.2 ELECCIÓN DEL (DE LOS) MÉTODO(S) GEOFÍSICO(S)

Esta elección viene condicionada *a priori* por la naturaleza de los yacimientos buscados, la precisión requerida y el tamaño de las zonas en las que se realizará la prospección (ver Sección 4).

En la región considerada, existen niveles muy variables de mineralización del agua y la resistividad es, por tanto, el parámetro físico más indicado para suministrar la información de más relevancia, al ser altamente sensible a la conductividad eléctrica del agua.

La alta probabilidad de encontrar capas arcillosas dentro de los aluviones y el conocimiento *a priori* de la existencia de agua subterránea altamente mineralizada indica que las formaciones estudiadas son buenas conductoras eléctricas. En estas condiciones, las medidas de resistividad electromagnética son preferibles frente a los métodos de corriente directa.

La precisión ha de ser suficiente como para permitir que la perforación de un sondeo alcance con seguridad la anomalía buscada. Las prospecciones TDEM con la configuración de un equipo ligero pueden dar medidas hasta profundidades de 100 m en un medio conductor como éste. Por otra parte, integran señales sobre un gran volumen (dependiendo del tamaño del aro usado) y en presencia de estructuras complejas no pueden dar una idea precisa de las variaciones laterales.

El único método que puede usarse de forma rutinaria para realizar medidas bidimensionales de resistividad necesarias para describir estructuras geológicas complejas es el ERI (*Electrical Resistivity Imaging*).

El MRS puede dar información sobre la presencia de agua subterránea y sobre las características de los yacimientos.

Una prospección TDEM se hace en 30 ó 45 minutos (incluyendo la preparación del equipo y la toma de medidas), comparado con las 2 ó 3 horas de un ERI convencional y las 2 ó 20 horas para un MRS.

Para el contexto específico de Mozambique, los métodos escogidos en última instancia fueron:

– prospecciones TDEM para representar la resistividad como una función de la profundidad e indicar las zonas con acuíferos potenciales (Figura 11.57);

– ERI para representar bidimensionalmente la resistividad y, así, determinar la geometría de los yacimientos potenciales y la conductividad eléctrica del agua que contienen;

– MRS para confirmar la existencia de yacimientos y determinar sus características hidráulicas

Figura 11.57: Preparación para una medida TDEM (Mozambique, 2000).

Figura 11.58: Pozo tradicional en Nhamago (Mozambique, 2000).

5.4.3 APLICACIONES DE LOS MÉTODOS GEOFÍSICOS

Búsqueda de emplazamientos potenciales: prospecciones TDEM

Tras un reconocimiento del terreno, se escogieron las zonas de prospección geofísica que se encontraban lo más cerca posible a los asentamientos humanos considerados como prioritarios en términos de necesidades de agua de la población. Las fotos aéreas fueron de utilidad limitada, por no poder identificarse en ellas ningún emplazamiento (el área de acción fue una zona de guerra durante mucho tiempo y no se pudo identificar ninguna de las infraestructuras visibles, ni siquiera las carreteras). Por ello la información más pertinente para escoger las zonas con acuíferos potenciales se obtuvo principalmente de la geomorfología y de las conversaciones con la población local.

Cuando las zonas donde se va a realizar la prospección son muy extensas, se recomienda hacer unas medidas rápidas para clasificar varios sitios en función de su potencial en almacenamiento de agua.

En las regiones que nos ocupan, las prospecciones TDEM están bien adaptadas a este propósito. Son fáciles de organizar y los resultados son suficientes para indicar las zonas en las que se deben llevar a cabo estudios más detallados (y más difíciles).

La Figura 11.59 indica el ejemplo de la aldea de Nhamago situada en un entorno uniforme de arenisca. En primer lugar, se realizó una prospección de calibración alrededor del pozo tradicional usado por la población local (indicado en la Figura 11.58 y señalado como 'pozo *Nm'* en la Figura 11.59), y los valores calculados de resistividad se compararon con las medidas directas y las observaciones del pozo:

– La resistividad de los acuíferos arenosos estaba mal definida por que el método TDEM es insensible a los primeros metros de profundidad. Estas arenas mostraron una resistividad muy superior a la del material situado inmediatamente por debajo.

– La conductividad eléctrica del agua (a 25°C) fue de 770 µS/cm, o 13 Ω·m.

– Una capa arcillosa identificada en el fondo del pozo mostró una resistividad calculada inferior a 10 Ω·m.

– El substrato de arenisca aflora cerca del pozo. Es también altamente conductor y presenta una resistividad calculada de menos de 15 Ω·m.

La zona objetivo por consideraciones geofísicas fue identificada así como una masa resistiva que descansa sobre un substrato conductivo.

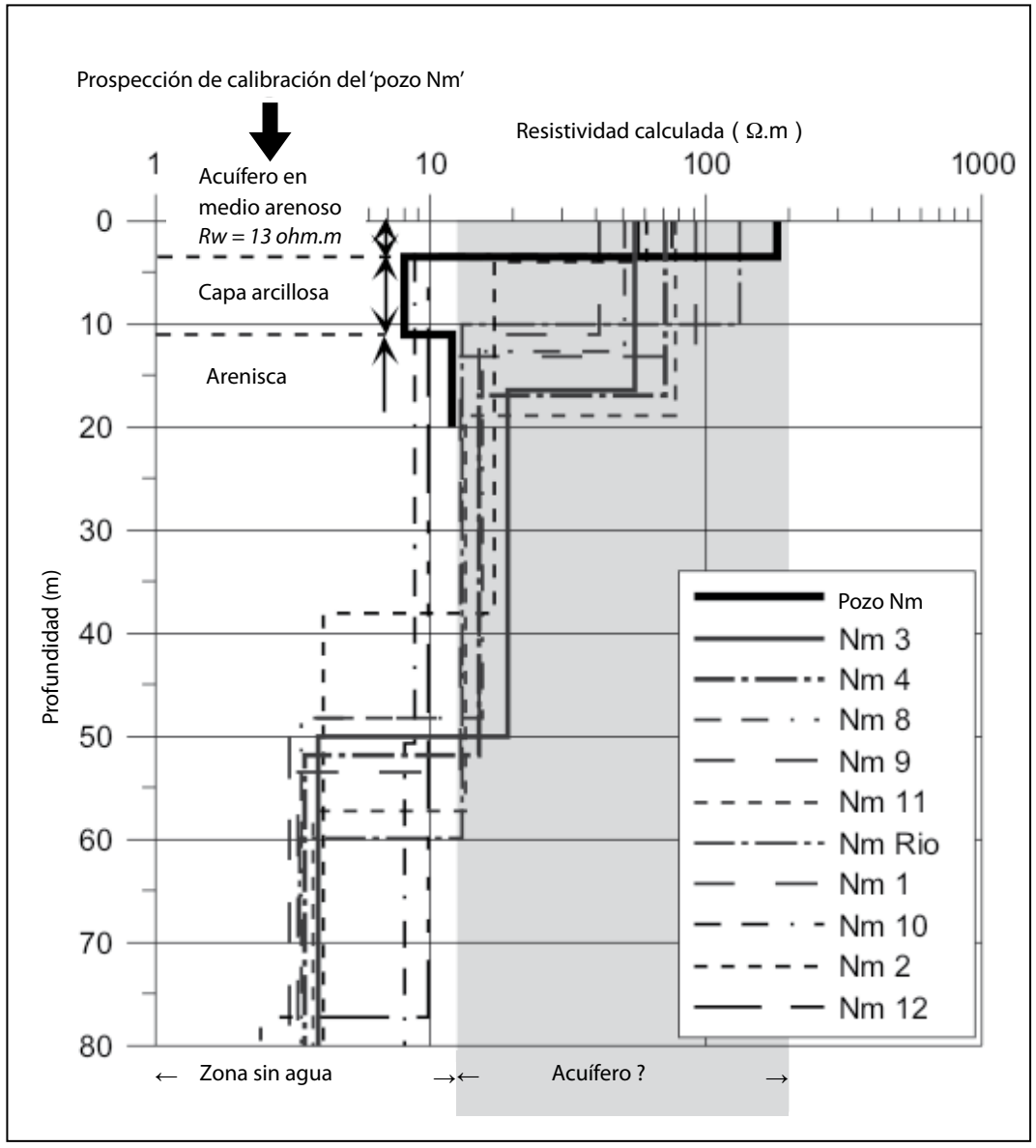


Figura 11.59: Prospecciones TDEM, aldea de Nhamago (Mozambique, 2000). Rw es la resistividad del agua.

Se realizaron once prospecciones TDEM en dos días sobre supuestas anomalías (determinadas por la geomorfología). Los resultados de la interpretación se muestran en la Figura 11.59. Se pueden distinguir dos grupos de curvas: el primer grupo, para el que las resistividades calculadas son inferiores a 10 Ω.m, se interpreta como una arenisca arcillosa; el segundo representa la formación superficial más resistiva que yace sobre el substrato conductivo. Los sitios más favorables son aquellos cuyas capas resistivas se ponen más claramente en evidencia, en términos de su espesor así como del valor de su resistividad calculada (p.ej. Nm3 y Nm4).

Mostrando estructuras complejas: ERI

Incluso si los valores de resistividad calculada son difíciles de correlacionar con los tipos de roca, siempre será posible usar los contrastes de resistividad para mostrar estructuras geológicas.

La Figura 11.60 presenta los valores de resistividad calculada que se obtuvieron en 43 prospecciones realizadas en Mozambique. La dispersión de los valores alrededor de la media y el solape de los diferentes registros (rocas secas, acuíferos de agua dulce y de agua salobre) indican que un único valor de resistividad no se puede asociar únicamente con un determinado tipo de roca. Este fenómeno se explica por la presencia de arcilla y agua mineralizada de contraste.

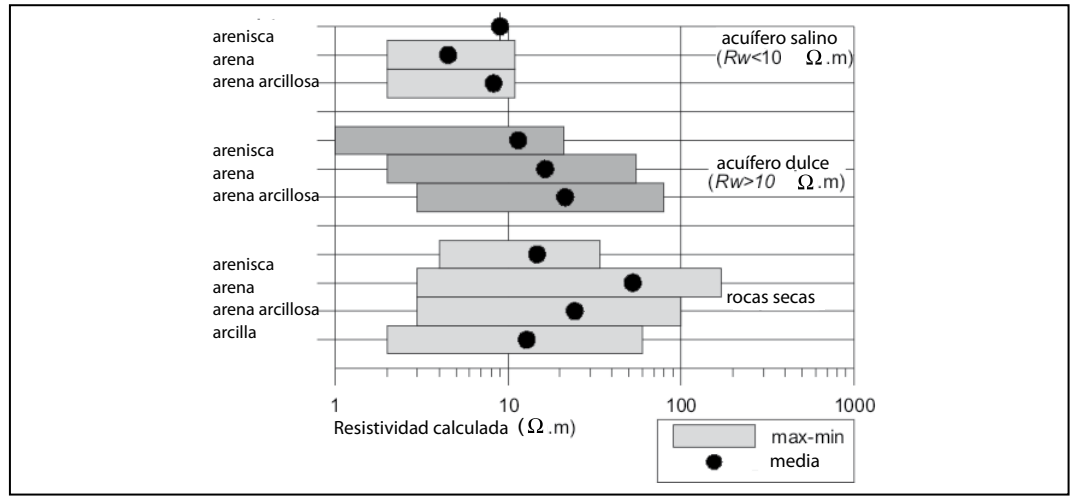


Figura 11.60: Resistividad calculada en función del tipo de roca, datos obtenidos en 43 medidas. Rw es la resistividad del agua (Mozambique, 2000).

En estas circunstancias las medidas bidimensionales pueden proporcionar información adicional gracias a la interpretación cualitativa de las variaciones en resistividad.

La Figura 11.61 muestra las medidas de resistividad hechas en la aldea de Chivulivuli, situada al norte de la zona, en el límite entre una zona de arenisca y la capa de recubrimiento aluvial del río Zambeze a 3,5 km de distancia. El conjunto de prospecciones TDEM realizadas en el estudio preliminar no mostró ningún contraste significativo (los resultados de dos prospecciones típicas se presentan en el gráfico A). Sin embargo, se realizó un ERI para ver si este contraste tan débil podría tener alguna significación.

Las variaciones de la resistividad (contrastes) se ponen de manifiesto claramente en medidas bidimensionales y sugieren las siguientes estructuras (Fig. 11.61, gráfico. A):

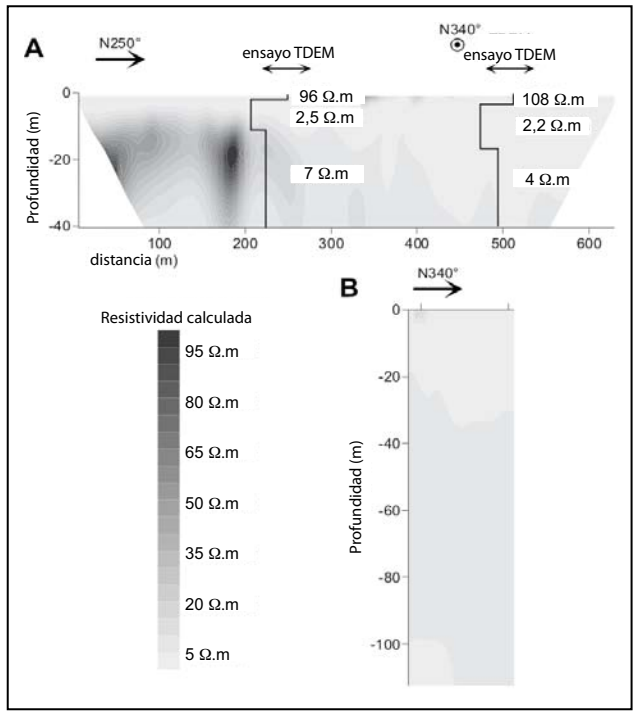


Figura 11.61: Prospecciones TDEM y ERI, Chivulivuli (Mozambique, 2000). A: sección de las resistividades alfa Wenner calculadas (RMS=2,9%), B: sección perpendicular de las resistividades polo-polo calculadas (RMS=2,3%, inversión realizada con el programa RES2DINV).

– La capa poco profunda, altamente conductora (de 1 a 5 Ω·m) presente a lo largo de toda la sección indica claramente la presencia de un estrato arcilloso.

– Hacia el oeste de la prospección ERI, los valores bajos de resistividad continúan con la profundidad y pueden ser indicativos de un medio arcilla-limo.

– Finalmente, la zona resistiva más profunda hacia el este de la prospección ERI (30 a 80 Ω·m) es claramente más arenosa.

Se realizó una segunda medida perpendicular a la primera y centrada en un punto a 470 metros de la primera medida ERI, usando un aparato polo-polo que permitió una profundidad de penetración mayor (manteniendo constantes los demás parámetros – gráfico B). La imagen resultante es mucho más uniforme, confirmando que las estructuras son bidimensionales (este-oeste) y que se respeta el campo de validez del método.

En condiciones como éstas, ERI proporciona campos de información adicional sobre las estructuras existentes y permite al hidrogeólogo tener una idea de la geometría de los yacimientos potenciales. Pero la existencia de agua subterránea sigue siendo incierta porque los valores de resistividad por sí solos no indican la presencia de agua sin ambigüedades.

Confirmación de la presencia de agua subterránea: MRS

En este mismo lugar de Chivulivuli, se hicieron prospecciones MRS en las dos formaciones mostradas por el cálculo del perfil de resistividad. La interpretación de estas prospecciones se verificó perforando dos pares de sondeos. Los resultados se presentan en la Tabla 11.XII y la Figura 11.62.

Tabla 11.XII: Sondeos y MRS, Chivulivuli (Mozambique 2000).

Sondeo	Profund. total (m)	Situac. del filtro (m)	Nivel estático (m)	Descarga por el aire(l/h)	Concentración de agua MRS (%)	Constante de tiempo T_2*(ms)	Conductivid. eléctrica del agua (µS/cm)	Resistividad del acuífero (Ω·m)
8/FCH/98	28,5	22-27	2,2	1 000	17	230	650	40
2/GCH/00	36	4-9	2,2	1 200	8	200	33 000	2
9/FCH/98	10,5	4-9	4,5	1 000	3	180	11 000	2
1/GCH/00	37	3-8	4,5	1 200	3	180	10 000	2

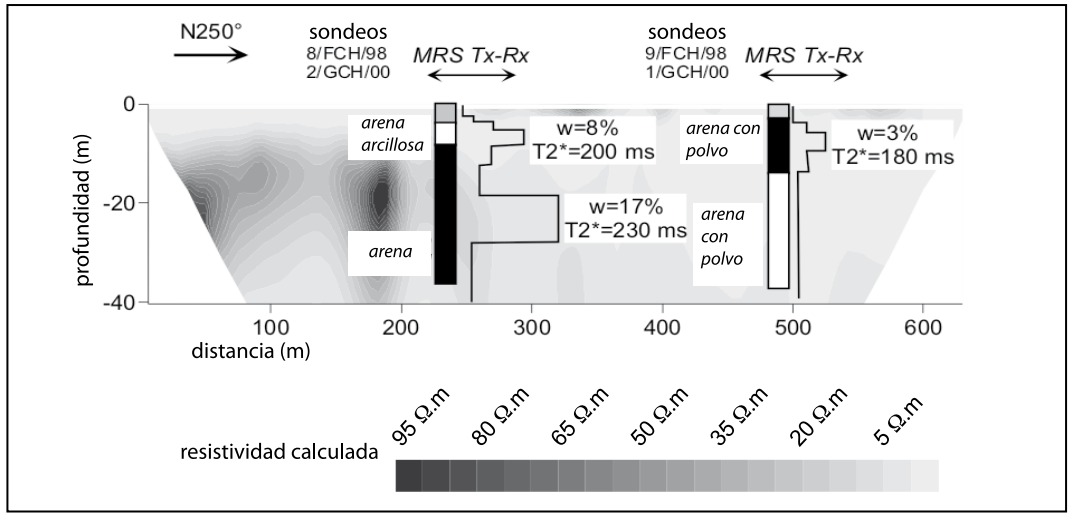


Figura 11.62: ERI y MRS, Chivulivuli (Mozambique, 2000). W es la fracción de agua y T2* la amortiguación de la constante medida.

MRS pone de manifiesto la presencia de un yacimiento a lo largo de todo el perfil, entre los 2 y los 10 m de profundidad. La resistividad extremadamente baja de este horizonte (2 Ω·m) indica claramente la existencia de agua altamente mineralizada (y no una capa arcillosa como cabría imaginar inicialmente de los resultados del ERI). Los tres sondeos que explotan este acuífero confirman estas conclusiones: existe un yacimiento (rendimiento de alrededor de 1 m^3/h) y el agua está altamente mineralizada (10 000 a 33 000 µS/cm).

MRS pone de manifiesto un segundo yacimiento al este del perfil. La mayor concentración de agua, debida a una amortiguación de la señal ligeramente mayor, indica la presencia de una formación más productiva que el yacimiento superficial. La resistividad de este volumen es mucho mayor y se esperaría que el contenido en minerales del agua fuera más moderado.

Se perforaron dos sondeos para confirmar estos hallazgos, pero sólo se pudo usar uno porque el otro, situado al oeste, se derrumbó y no acabó de completarse (1/GCH/00). El sondeo restante, que explota la formación al este del perfil, confirma la información geofísica: el acuífero existe y suministra agua ligeramente mineralizada para esta región (650 µS/cm).

Caracterización del acuífero por ERI+MRS

Usando la información complementaria proporcionada por MRS y ERI, es posible proponer un modelo hidrogeológico para esta zona (Figura 11.63). Este modelo es cualitativo más que cuantitativo porque el número de medidas no es suficiente para permitir una calibración de los estimadores hidrogeológicos del MRS. Se dan ejemplos de calibraciones en el capítulo 11B.

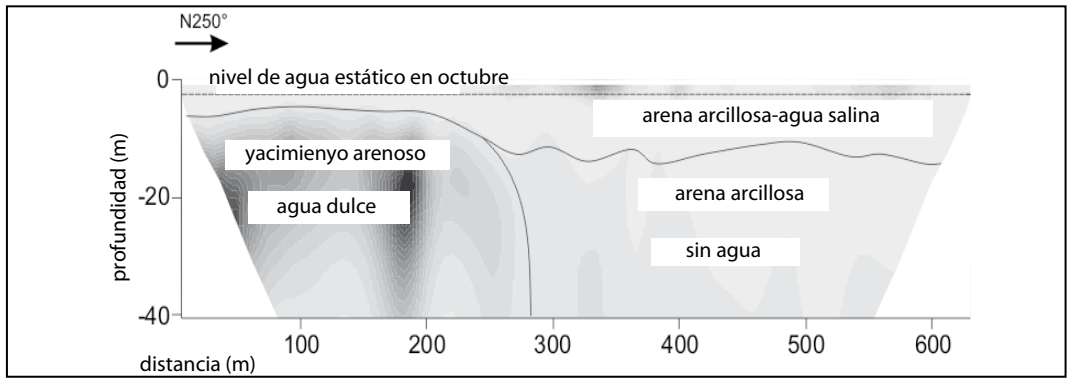


Figura 11.63: Representación del acuífero de Chivulivuli (Mozambique, 2000).

5.4.4 PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO HIDROGEOFÍSICO

Las herramientas geofísicas pueden ser útiles por dos razones:

– Proporcionan información que permite la perforación de sondeos positivos en formaciones fraccionadas, permitiendo así suplir los requerimientos de agua de la población.

– Pueden ahorrar dinero en el programa, al reducir el número de sondeos perforados que son salobres, están secos o son de baja producción.

La proporción global de éxito

ACF construyó 178 puntos de suministro de agua entre 1994 y 2000. Los sondeos negativos empezaron a registrarse sistemáticamente desde 1997. Y desde entonces, los promedios anuales son:

– 11,3 sondeos negativos y 9 positivos (55,6% de fracaso);

– 7,3 sondeos secos (35,8% de los sondeos negativos);

– 2,5 sondeos con agua salobre (12,3% de los negativos);

– 1,5 sondeos se abandonaron por problemas de perforación (7,4% de los negativos).

En 1999, la introducción de técnicas geofísicas unidimensionales (Schlumberger VES) aumentó la proporción de éxitos en los sondeos desde el 29 al 54% en zonas geográficamente similares. Esta mejora se debe a una reducción del 16% en el número de sondeos salobres, mientras que el número de sondeos secos apenas disminuyó. Hay, por tanto, límites en la utilidad de las medidas de resistividad

en este contexto: los valores de resistividad permiten identificar yacimientos que contienen agua altamente mineralizada (baja resistividad), pero no dan señales de la simple presencia de agua.

Desde octubre a diciembre de 2000, se organizó un programa geofísico usando métodos nuevos. Los lugares seleccionados para el estudio (4 lugares con un total de 15 sondeos) correspondieron a zonas en las que todos los sondeos previamente perforados habían sido negativos. Estos fueron, por tanto, los lugares más difíciles que se encontraron desde que empezó el proyecto en 1994. El uso combinado de los métodos TDEM, el ERI y el MRS alcanzaron una proporción global de éxito del 66%.

Análisis económico de los estudios geofísicos

La Tabla 11.XIII presenta el coste de los estudios geofísicos por lugar investigado en €. El cálculo se realiza usando costes reales de ACF en el 2000, sobre la siguiente base:

– vehículo 4x4, usado parcialmente para los estudios geofísicos, comprado nuevo, con una depreciación a 0 en 5 años;

– equipo de geofísica comprado nuevo, depreciación a 0 en 5 años (excepto el equipo VES –en 3 años);

– equipo de técnicos y empleados geofísicos a jornada completa;

– 9 meses de trabajo por año, con 10 días en cada lugar, que da 27 lugares por año.

Tabla 11.XIII: Coste de estudios geofísicos en € (ACF, Mozambique, 2000).

Método		VES	ERI	ERI+MRS	RS
Mano de obra nacional	Nro.	4	5	8	10
	coste por estudio	327	373	691	840
Mano de obra internacional	Nro.	1	1	1	1
	coste por estudio	311	311	311	700
Coste de los equipos geofísicos	compra	4 200	30 000	141 000	183 510
	amortización (año)	3	5	5	5
	varios	10	10	20	30
	coste por estudio	56	227	1 053	1 373
Vehículos	Nro.	1	1	1	1
	coste por estudio	218	218	218	327
Número de estudios por año		27	27	27	27
Costes administrativos (8%)		48	65	157	203
Coste total		649	883	2 119	2 743

El coste de un sondeo negativo calculado sobre la misma base es 3 655 euros y el coste de un sondeo positivo es de 4 483 Euros. Usando estos costes, se puede determinar el rango de utilidad económica de varios métodos o combinaciones de métodos en función de la mejora en la proporción de éxitos que ofrecen (Figura 11.64).

A nivel de los programas de ACF, y para la campaña de geofísica del año 2000, se puede concluir que:

– el uso del método VES, que aumentó en un 24% la proporción de éxito en los sondeos desde su introducción en 1999, es viable económicamente cualquiera que sea la proporción de fracaso en los sondeos;

– el uso combinado de los tres métodos (TDEM, ERI y MRS) se justifica económicamente en sitios difíciles (proporción de éxitos por debajo de 40%) si se duplica la proporción de éxitos, lo que parece realista.

Recomendaciones

La decisión sobre el tipo de procedimiento geofísico a usar como parte del estudio hidrogeológico (Tabla 11.XIV) se basa en evaluaciones técnicas y análisis económicos.

Desde el punto de vista técnico, la adecuación del uso combinado de varios métodos geofísicos en esta región viene ilustrado por los ejemplos citados anteriormente:

– Las prospecciones TDEM permiten una prospección rápida sobre amplias zonas que se prevén prometedoras según la inspección preliminar (foto-interpretación, geomorfología y geología). Indican los lugares donde se pueden llevar a cabo los ERI.

– Las medidas de resistividad bidimensionales se usan para localizar estructuras subterráneas y poner de manifiesto las zonas con posibilidades de contener agua, en los que se pueden llevar a cabo el método MRS.

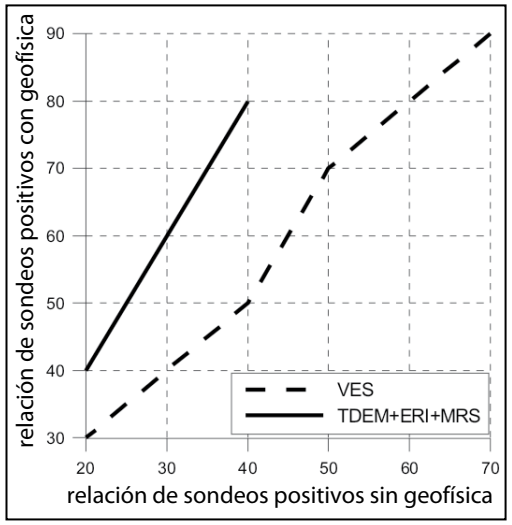


Fig. 11.64: Rango económico favorable de los métodos geofísicos (ACF, Mozambique, 2000).

– MRS confirma la presencia de agua subterránea y da información de los parámetros hidráulicos del yacimiento.

– Finalmente, la interpretación de los parámetros MRS combinada con la resistividad eléctrica de los acuíferos da una estimación de la conductividad eléctrica del agua.

Tabla 11.XIV: Procedimiento hidrogeofísico (Mozambique, 2000).

Fase del estudio	Métodos y herramientas	Objetivo
Estudio preliminar	Foto-interpretación (donde la localización de la zona sea posible)	Identificación de las formaciones geológicas (arenisca/ aluvión) Identificación de lineamientos en zonas de arenisca
Reconocimiento del terreno	Observaciones geológicas y geomorfológicas. Visita a las infraestructuras de acceso a agua existentes	Confirmación de la geología local y de los objetivos hidrogeológicos
Estudio geofísico	Prospecciones TDEM	Identificación de acuíferos potenciales
	ERI	Definición de la geometría del yacimiento potencial y del nivel de mineralización del agua
	MRS	Confirmación de la existencia del acuífero y su caracterización hidráulica
Estudio complementario	Sondeo de reconocimiento Análisis del agua MRS Ensayo de bombeo Medidas piezométricas	Explicación de la dinámica del agua subterránea Caracterización del yacimiento y del agua subterránea Evaluación del impacto del sondeo en los recursos hídricos

6 EJEMPLOS DE CAMPO: IMPLEMENTACIÓN DE SONDEOS EN SEDIMENTOS NO CONSOLIDADOS

Con el fin de ilustrar los procedimientos hidrogeofísicos llevados a cabo por ACF en la búsqueda de aguas subterráneas, se presentan tres ejemplos que corresponden a algunos de los principales contextos geológicos: sedimentos recientes no consolidados en Camboya, roca base cristalina en Burkina Faso y caliza kárstica en Francia como ejemplo de un contexto altamente heterogéneo.

Para facilitar la lectura, no se indican las referencias científicas usadas en este capítulo, pero se pueden hallar en la lista principal de referencias.

Los sedimentos no consolidados son un contexto geológico bastante común para los programas de ACF. Tienen gran potencial para suministrar agua a mucha población porque están presentes en muchas partes del mundo y por lo general su desarrollo suele ser fácil y accesible a los usuarios. Sin embargo, estas fuentes de agua subterránea pueden ser también difíciles de explotar por su contenido en arcilla y porque son muy vulnerables a la contaminación superficial y a veces están sujetas a excesiva mineralización. Con el fin de mejorar los procedimientos de estudio de estos recursos, ACF llevó a cabo un proyecto de prueba en Camboya con el apoyo de un instituto de investigación francés, IRD (*Institut de Recherche pour le Développement)* y de una empresa de equipos de geofísica, *Iris Instruments*.

6.1 Antecedentes

ACF comenzó su programa en la provincia de Siem Reap de Camboya en 1992 (Figura 11.65). El objetivo era apoyar a la población, que se había refugiado en Tailandia, en el retorno y reasentamiento en su territorio de origen. Hacia el final de 1998, se habían perforado 900 pozos en zonas rurales para suministrar agua potable a la población. De estos 900 pozos, 180 no tuvieron éxito, la mayor parte de ellos se perforaron en zonas concretas en las que el porcentaje de fallos alcanzaba el 70%.

Esta provincia se ve afectada en gran medida por las actividades humanas (campos de arroz, infraestructura de riego, etc.) y las herramientas hidrogeológicas tradicionales de fotointerpretación o cartografía del terreno no son útiles en la delimitación de la situación de los sondeos. Además, el análisis de los restos de los pozos perforados muestra una elevada heterogeneidad litológica a escala provincial (rango de kilómetros) o a escala de aldeas (rango de centenares de metros). La geofísica es una buena técnica en este tipo de contextos y se seleccionaron varios tipos de herramientas para estudiar esta provincia por las razones siguientes:

1. En estos casos, la resistividad de la roca proporciona información geológica y de la calidad del agua subterránea. Un método electromagnético, como la prospección TDEM, es más efectivo en ambientes conductores que el común VES, por su elevada sensibilidad a las capas conductoras.

2. El uso de medidas unidimensionales no es adecuado en áreas geológicas complejas en las que las medidas bidimensionales, como ERI, son más efectivas.

3. La resistividad de un acuífero está relacionada con la EC (conductividad eléctrica) de su agua. Cuando la EC del agua subterránea es elevada, la resistividad del acuífero puede alcanzar el mismo orden de magnitud que un medio arcilloso y el parámetro de la resistividad es inútil para determinar el acuífero. Aquí, el método MRS es el más adecuado, por su efectividad en la determinación de la existencia de agua subterránea, independientemente de su conductividad.

4. Para responder a las cuestiones fundamentales que se plantean los hidrogeólogos en la realización de sondeos (¿Dónde está el agua subterránea?, ¿Qué rendimiento puede esperarse de un pozo perforado?, ¿Cuál será la calidad del agua?), puede ser de utilidad el uso conjunto de métodos de medida de resistividades y métodos MRS.

En consecuencia, se organizó un estudio de 6 semanas al final de 1998 en 12 lugares, usando VES, TDEM, ERI y MRS conjuntamente.

6.1.1 ENTORNO FÍSICO

La provincia de Siem Reap está situada al norte del lago Tonle Sap, al noroeste de Camboya (Figura 11.65). La superficie total de la provincia es de 15 270 km². La provincia es plana, a excepción de las montañas Kulen al norte (altitud máxima de 487 msnm) y algunas elevaciones aisladas (llamadas Phnom). Los principales ríos fluyen del norte hacia el lago Tonle Sap al sur. La provincia tiene un clima monzónico tropical, con dos estaciones de lluvias (Mayo-Junio y Agosto-Octubre), la precipitación media anual es de 1 500 mm y la temperatura media del aire es de 26,7° C.

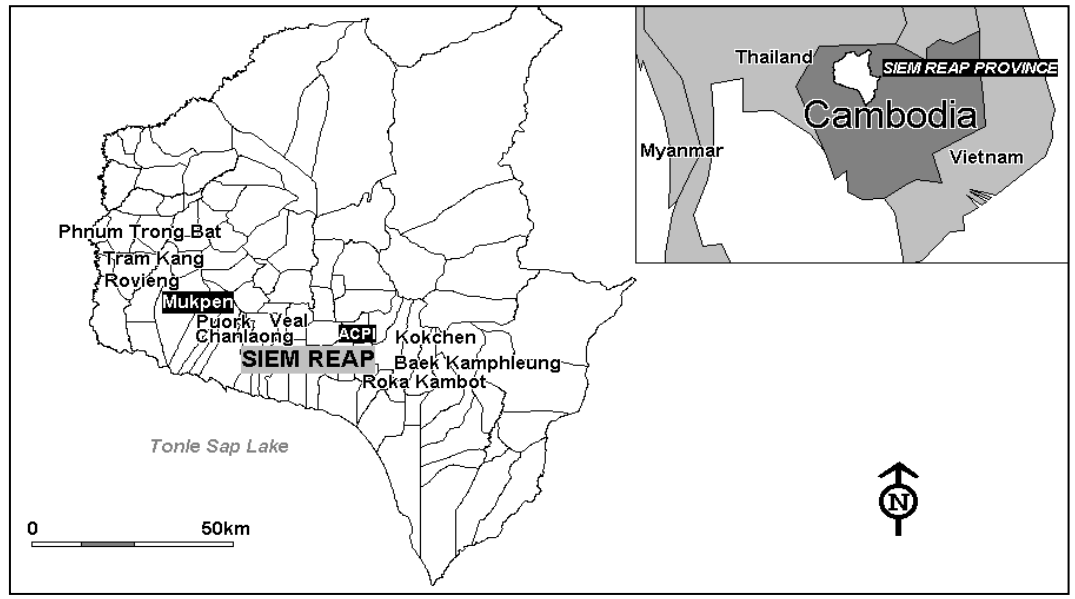


Figura 11.65: Provincia de Siem Reap y principal lugar investigado.

6.1.2 ENTORNO HUMANO Y COBERTURA DE AGUA POTABLE

La población de la provincia es de unos 650 000 habitantes (1993). Las principales actividades económicas son la agricultura y la pesca (90%), el comercio (7%) y los servicios (3%). El principal cultivo es el arroz.

La cobertura de agua potable de la provincia se estima que es de alrededor del 25% de la población; los suministros provienen de pozos poco profundos (de 3 a 6 m de profundidad) y sondeos (de 20 a 80 m de profundidad), equipados en su mayoría con bombas manuales. El 75% de la población que no tiene acceso al agua potable, la extrae de estanques, ríos y pozos abiertos. Las estadísticas sanitarias muestran que el 40% de las hospitalizaciones y el 64% de los fallecimientos conocidos en la provincia se deben a enfermedades causadas por el agua y el entorno.

6.1.3 ENTORNO HIDROGEOLÓGICO

La provincia se sitúa principalmente en una cuenca sedimentaria de capas gruesas de 20 a 100 m. de espesor de sedimentos terciarios tardíos a cuaternarios, con partículas de tamaños que van desde arena gruesa hasta la arcilla. Estas rocas yacen sobre otros sedimentos más antiguos y consolidados (areniscas secundarias a terciarias hasta rocas de barros) y rocas ígneas (diorita, granodiorita, basalto y andesita) con afloramientos en las montañas Kulem y Phnom.

Los acuíferos pueden subdividirse en:

1. Acuíferos no confinados poco profundos (depósitos aluviales) con profundidades de 2 a 5 m de media. La población se beneficia de estos acuíferos mediante pozos poco profundos, que en ocasiones son temporales y casi siempre están contaminados con materia orgánica.

2. Los acuíferos buscados por este programa, con profundidades de 20 a 80 m. Son generalmente confinados y heterogéneos:

– al este de la provincia, los acuíferos son a menudo arcillosos (arena arcillosa). La transmisividad media es de 10^{-6} m²/s y el promedio de éxitos en la perforación del 35%;

– en el centro de Siem Reap, los sedimentos son más arenosos (menos arcilla) y la transmisividad media es de 10^{-2} m²/s y el promedio de éxitos alcanza casi el 90%;

– al oeste de la región, los acuíferos son principalmente de limo arenoso y la transmisividad media alcanza 10^{-5} m²/s. El promedio de éxitos de la perforación es del 60%.

6.1.4 METODOLOGÍA ESTUDIO-ENSAYOS

Se seleccionaron doce lugares en función de parámetros humanos y técnicos: las necesidades de agua de la población, sitios donde el acuífero estuviera bien identificado y sitios en los que varios sondeos no dieron resultado positivo. Los estudios de campo se llevaron a cabo con los cuatro métodos geofísicos: prospecciones VES, ERI, TDEM y MRS. La interpretación de los datos de campo se llevó a cabo inicialmente por separado para cada método y luego conjuntamente, usando las herramientas disponibles (Tabla 11.XV). Conforme a estos resultados, se perforaron sondeos y se hicieron ensayos BEL y pruebas de bombeo.

Los ensayos de bombeo fueron escalonados. Su objetivo era estimar la capacidad específica, las pérdidas de carga lineal y cuadrática, y el caudal máximo de explotación de los sondeos. Se hicieron también análisis de recuperación para estimar la transmisividad local del acuífero. Los ensayos de bombeo se interpretaron con la fórmula de Jacob. Se estimó la contribución técnica de la geofísica al nivel de éxito de los sondeos a partir del trabajo en estos doce lugares y la participación financiera de la geofísica en el programa de sondeos se calculó con cifras de ACF.

Finalmente, combinando los análisis técnicos y de costes, se llegó proponer un método geofísico para localizar, perforar y probar sondeos.

Tabla 11.XV: Métodos, equipo y herramientas de interpretación.

Método	Configuración	Equipo	Herramientas de interpretación
VES	Schlumberger y polo-polo	Ωmega (Acuífero)	Curvas de Cagniard y programa 'QWSEL'
ERI	Polo-polo	SYSCAL R2 (instrumentos IRIS)	Programa 'RES2DINV'
TDEM	Tx:100x100m&75x75 m Central Rx: 31.4 m²	PROTEM 47 (Geonics Ltd.)	Programa 'TEMIX'
MRS	TX/Rx: 75x75 m & 37.5 x 37.5 m	NUMIS (instrumentos IRIS)	Programa 'Samovar'
Registro DC	Sonda normal 8" & 32" Resistividad del fluido	ACF	
Perforación / sondeo	Barro rotativo 6" entubamiento de PVC 4" Filtro con perforaciones de 0,8 mm y 7,5% del área abierta Grava para el filtro de 1-5 mm	PAT-ACF 201	
Ensayo de bombeo	De 1 a 4 etapas de bombeo	Bomba sumergible de 4"	Ecuación de 'Jacob'

6.2 Ejemplo de resultados

6.2.1 UN POZO PERFORADO DE ALTO RENDIMIENTO: ESCUELA ACPI

El objetivo fue la perforación de un pozo para el suministro de agua a una escuela (Fig. 11.66).

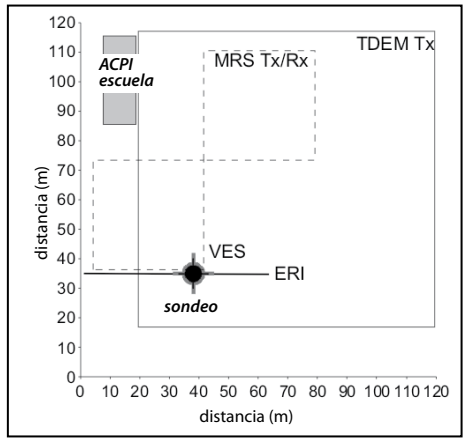


Figura 11.66: Mapa de situación de un estudio geofísico en la escuela ACPI.

Medidas de resistividad unidimensionales: VES y TDEM

La inversión de VES Schlumberger se presenta en la Figura 11.67. La interpretación geológica del VES es que la capa con resistividad de 477 Ω·m podría ser un acuífero arenoso con una profundidad de 10 a 42 m, que recubre un substrato arcilloso en el que la resistividad cae a 10 Ω·m. Problemas de equivalencia no permiten separar la determinación de la resistividad y el espesor de este acuífero potencial (sólo se puede determinar la resistencia transversal), y el espesor puede variar entre 26 m y 36 m, lo que tiene gran influencia en la transmisividad.

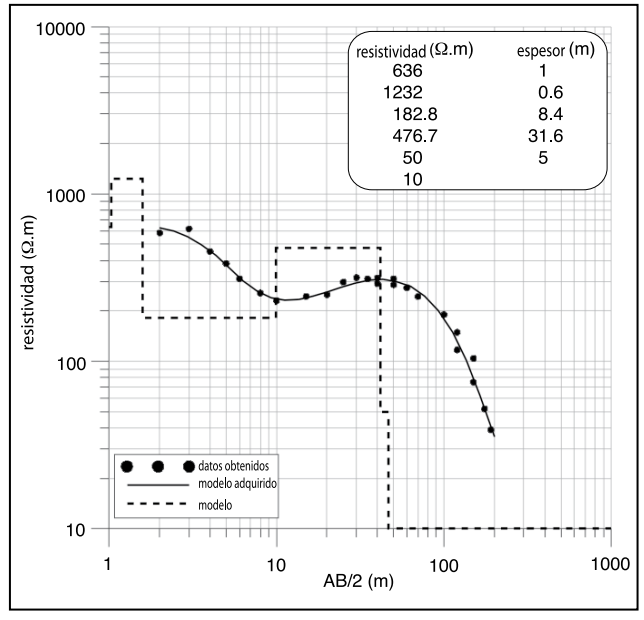


Figura 11.67: VES Schlumberger (rms = 7,5 %), escuela ACPI.

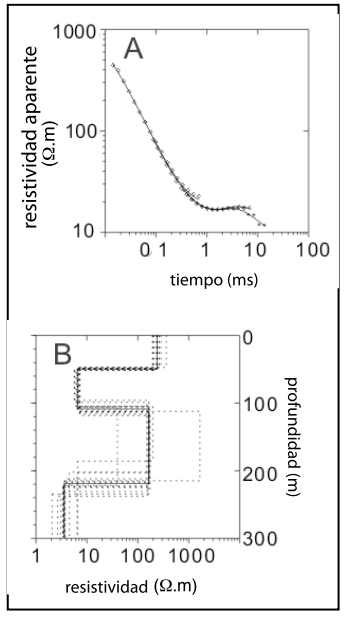


Figura 11.68: Sondeo TDEM, escuela ACPI.
A: datos de campo.
B: Inversión (modelos equivalentes, mejor ajuste rms error = %).

La inversión del ensayo TDEM (Figura 11.68) se parece a la del VES, pero: (1) el TDEM proporciona una mejor definición de la interfase entre las capas resistivas superiores y la capa conductora a obtener – por tanto, se mejora la estimación del fondo del acuífero potencial; (2) los primeros 10 m de profundidad se definen con menor precisión debido a la integración de la información superficial con el método TDEM; (3) la penetración hasta 200 es más profunda (con las configuraciones usadas).

Imágenes eléctricas bidimensionales: ERI

El resultado de la inversión muestra buena concordancia con la prospección Schlumberger, pero es más fina (Figura 11.69). Da también información adicional importante para la perforación del sondeo: el acuífero potencial (capa con alta resistividad) parece ser bastante homogéneo.

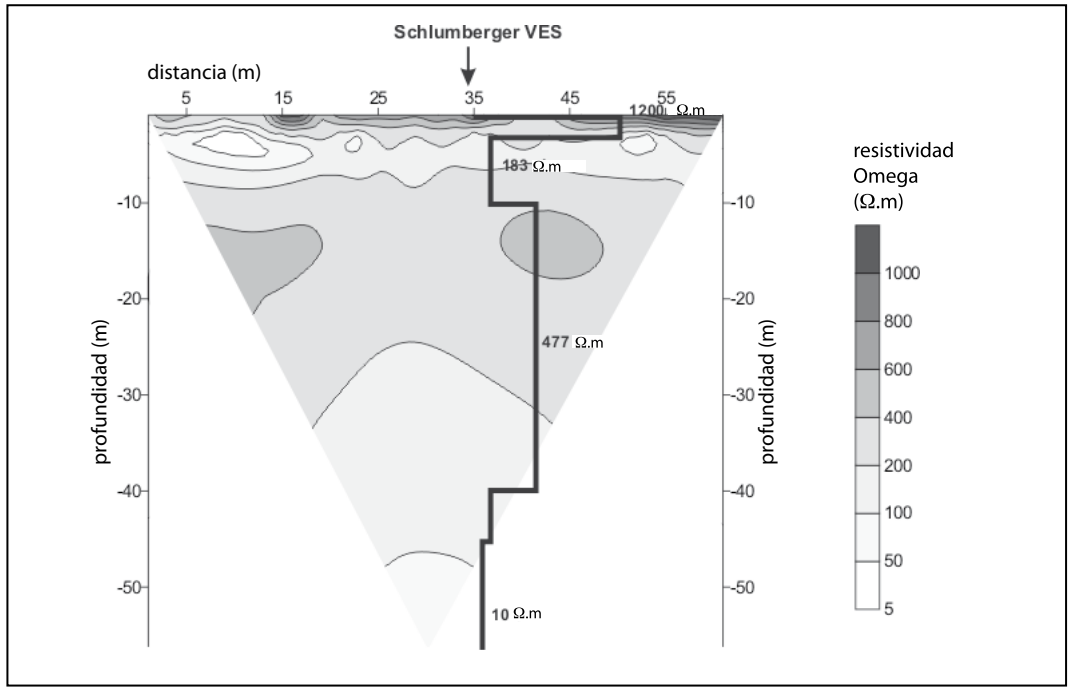


Figura 11.69: ERI (error rms = 3,1%) y resultados de la inversión VES, escuela ACPI.

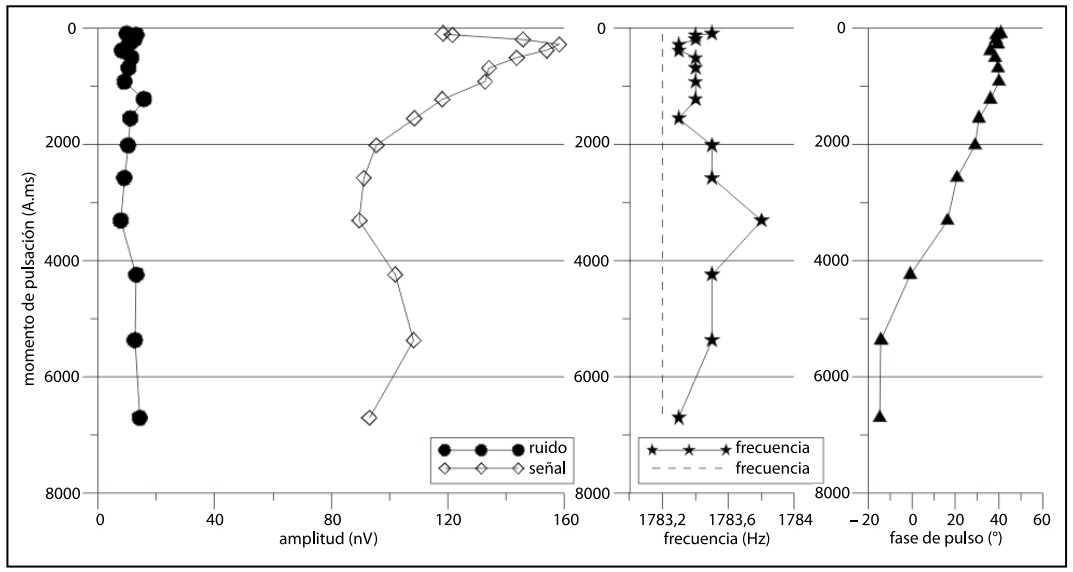


Figura 11.70: Datos sin procesar del MRS, escuela ACPI.

MRS

Los datos sin procesar (Figura 11.70) indican que las medidas son fiables: la relación señal/ruido es alta (10,6 de media), la frecuencia Rx de la señal de resonancia magnética está cercana a la frecuencia TX (menos de 0,5 Hz de diferencia) y la fase de la señal cambia suavemente a medida que aumenta el momento de la pulsación.

La inversión MRS (Figura 11.72) indica la existencia de una formación que contiene agua desde 1 m bajo la superficie hasta el fondo de toda la profundidad investigada. El contenido de agua varía entre el 5% y el 20% y el tiempo de amortiguamiento entre 160 y 280 ms.

Perforación del pozo y ensayo de bombeo

El pozo perforado se estudió con una sonda eléctrica usada principalmente para situar adecuadamente el filtro. Tras el desarrollo del pozo con la inyeccion de aire comprimido, se realizó un ensayo de bombeo en cuatro etapas (Figura 11.71). No se alcanzó el rendimiento crítico durante el ensayo, pero la pérdida de carga cuadrática aumentó vigorosamente cuando el caudal del bombeo aumentó a 9 m^3/h. El caudal máximo de explotación se fijó en 6 m^3/h (más allá de este punto la pérdida de carga cuadrática supera la pérdida de carga lineal).

La transmisividad local se estimó en 1,8 10^{-2} m^2/s a partir del análisis de la recuperación y la capacidad específica relativa fue de 1,4 10^{-3} m^2/s. La resistividad del agua subterránea al final de las pruebas de bombeo fue de 350 Ω·m (29 µS/cm), próxima a la del agua de lluvia local.

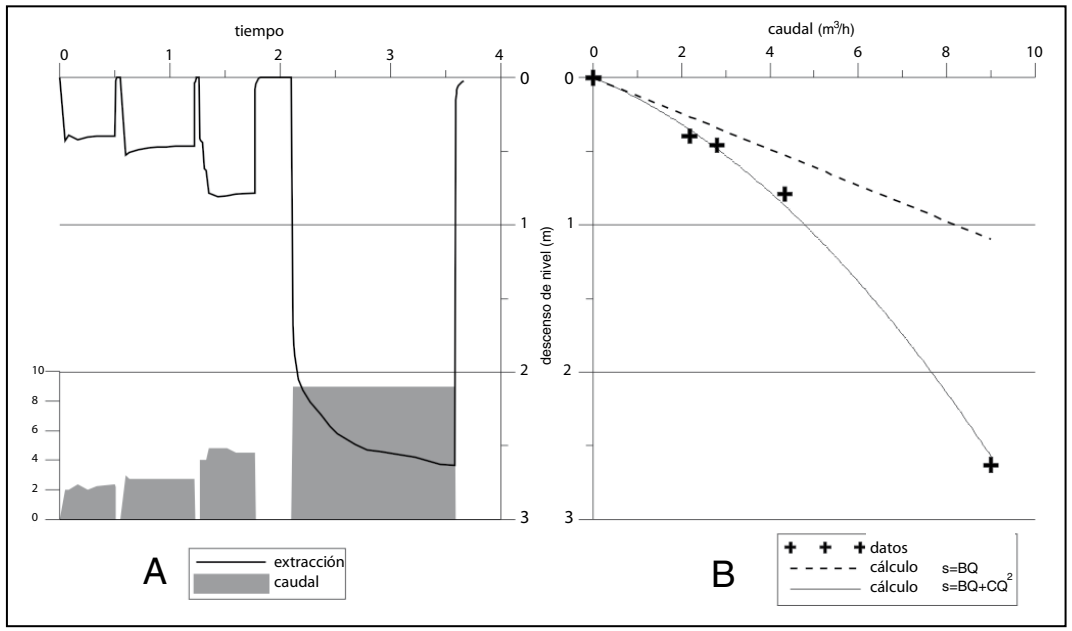


Figura 11.71: Ensayo de bombeo, escuela ACPI. A: medidas de campo; B: cálculo de la pérdida de carga.

Comentario

En este sitio en particular, se puede constatar (Figura 11.72) que el VES Schlumberger proporciona suficiente información para identificar con éxito el emplazamiento del pozo, aunque las dudas sobre el espesor del acuífero sólo se pudieron despejar con la información del TDEM. El ERI no permite conocer la localización más exacta para la perforación, porque el acuífero parece ser bastante homogéneo. La inversión MRS proporciona datos realistas sobre el contenido de agua según la litología, pero el tiempo de amortiguamiento T_2* es más difícil de correlacionar con el tipo de roca.

6.2.2 EJEMPLO DE UN LUGAR HETEROGÉNEO: ALDEA MUKPEN

Se perforaron tres pozos sin éxito (rendimiento de unos 300 l/h) en la aldea de Mukpen. Se llevó a cabo un estudio geofísico para localizar un sitio nuevo. La Figura 11.73 muestra un resumen de los estudios realizados tanto en un sondeo previo sin éxito (al norte) como en un lugar nuevo seleccionado para la perforación (al oeste).

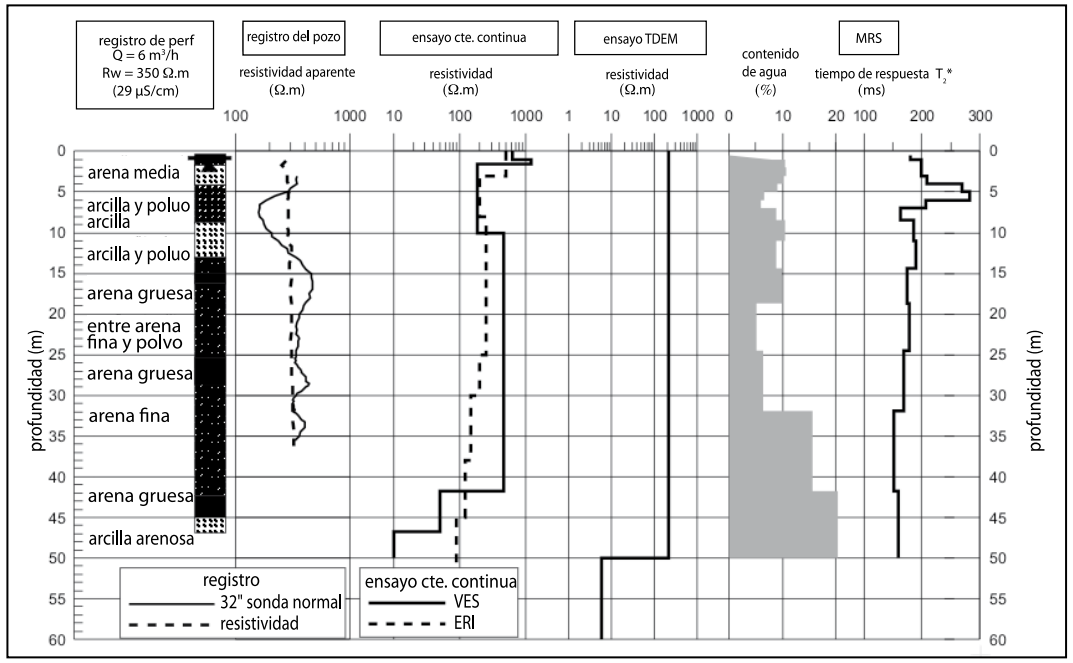


Figura 11.72: Resumen de los resultados geofísicos, escuela ACPI.

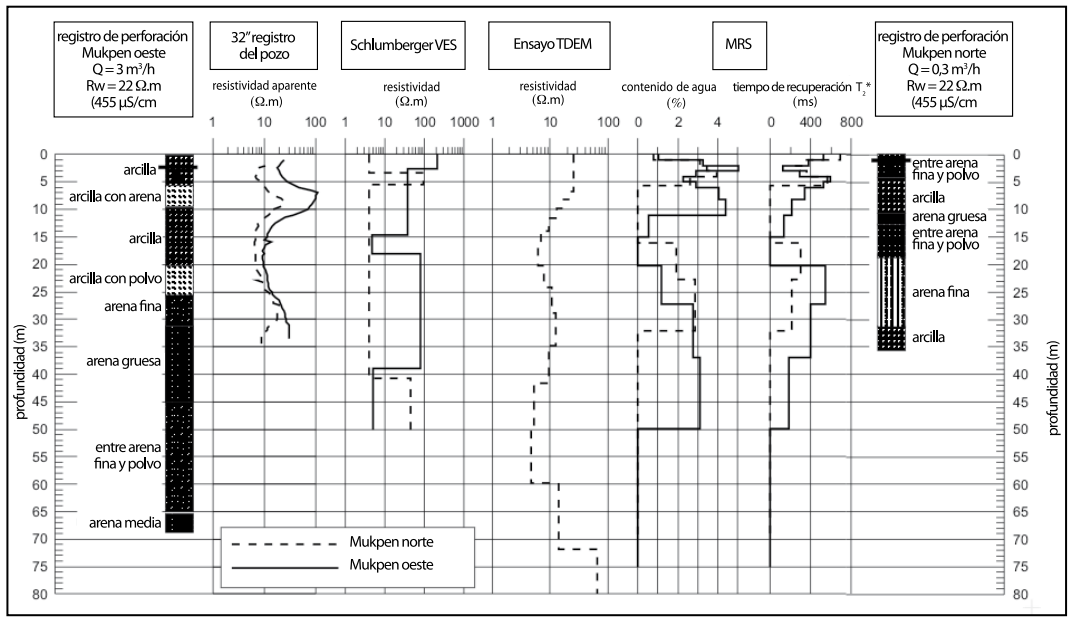


Figura 11.73: Resumen de los resultados geofísicos, aldea Mukpen.

Lugar al norte: pozo perforado de bajo rendimiento

Los valores de resistividad indican un área conductiva (menos de 10 Ω·m) que no puede ser interpretada como un entorno con elevado potencial hidrogeológico. La inversión MRS proporciona una estimación realista del contenido de agua de acuerdo con la litología y el rendimiento del pozo, pero el tiempo T_2* de amortiguación no concuerda con los valores esperados (tiempo mayor para la arena con limo que para la arena fina).

Lugar al oeste: pozo perforado de rendimiento medio

La prospección Schlumberger revela una capa con resistividad de 80 Ω·m entre los 18 y los 39 m de profundidad. Este valor se corresponde con una formación arenosa pero es muy inferior al de la escuela ACPI que era de 480 Ω·m. Esto se podía explicar por un bajo contenido arcilloso que no se había detectado o por la baja resistividad del agua de 22 Ω·m (455 µS/cm) comparada con los 350 Ω·m (29µS/cm) de la escuela ACPI. El espesor de la capa que muestra resistividad está mal definido con la prospección Schlumberger de acuerdo con la litología del pozo.

El estudio MRS revela una formación que contiene agua a una profundidad de entre 20 y 50 m, en buena concordancia con la litología en lo que se refiere al contenido de agua, pero el período de amortiguación T_2* no concuerda con los valores esperados. Al igual que en el caso de la escuela ACPI, se detecta agua con un período de amortiguación largo en la capa arcillosa poco profunda.

Comentario

En un contexto como éste, en el que hay una formación arenosa y arcillosa conteniendo agua conductiva, se puede establecer que sin una información *a priori* sobre la conductividad eléctrica (EC) del agua subterránea, los métodos basados en la resistividad no permiten situar de forma fiable el emplazamiento del pozo perforado, ya que la resistividad del acuífero es casi la misma que la de un material arenoso-arcilloso. El MRS indica una potencialidad superior, esto es un contenido de agua mayor, mayor período de amortiguación y una capa saturada de mayor espesor, para el sitio al oeste. Esto permitió situar con éxito un pozo en la aldea Mupken.

6.3 Discusión

La aplicación de la geofísica para definir el emplazamiento de un pozo perforado fue de utilidad por dos razones: (1) ayudó a ACF a alcanzar su objetivo de suministrar agua potable a la población, (2) permitió ahorrar dinero en el programa reduciendo el número de pozos perforados secos.

6.3.1 ANÁLISIS TÉCNICO

MRS

El MRS dio información precisa sobre el contenido de agua de acuerdo a la litología. No se encontró una relación clara entre el período de amortiguación T_2* y el tamaño de grano del acuífero. Según los datos publicados, el tiempo de amortiguación T_2* varía entre 30 ms en arcilla y 400-600 ms en formaciones de grava. Sin embargo, con frecuencia se encontraron tiempos de amortiguación de 100 a 200 ms en materiales arcillosos y de menos de 150 ms para los de arena gruesa. Esto se pudo explicar por las variaciones en las propiedades magnéticas de las rocas, que crean heterogeneidades locales en el campo geomagnético. El tiempo de amortiguación T_1, que depende principalmente del tamaño del poro, no se conocía en el momento del estudio (1998).

Sin embargo, MRS es el único método que permite la perforación con éxito de un pozo en un entorno conductor. La Figura 11.74 muestra la relación entre los datos MRS y la transmisividad local de los acuíferos estimada con los ensayos de bombeo. La transmisividad MRS se estimó como:

$$T = 1{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot w^4 \cdot (T_2^*)^2 \cdot \Delta z$$

donde w es el contenido en agua según el MRS en % y Δz el espesor del acuífero saturado MRS expresado en metros.

Uso conjunto de los métodos

Por un lado, la principal limitación de los métodos basados en la resistividad en Siem Reap es su elevada sensibilidad a la conductividad eléctrica del agua; por otro lado, esta es su mayor ventaja en comparación con el método MRS, que no tiene sensibilidad respecto a la calidad del agua (la conductividad eléctrica del agua está relacionada con los iones que están presentes en la solución).

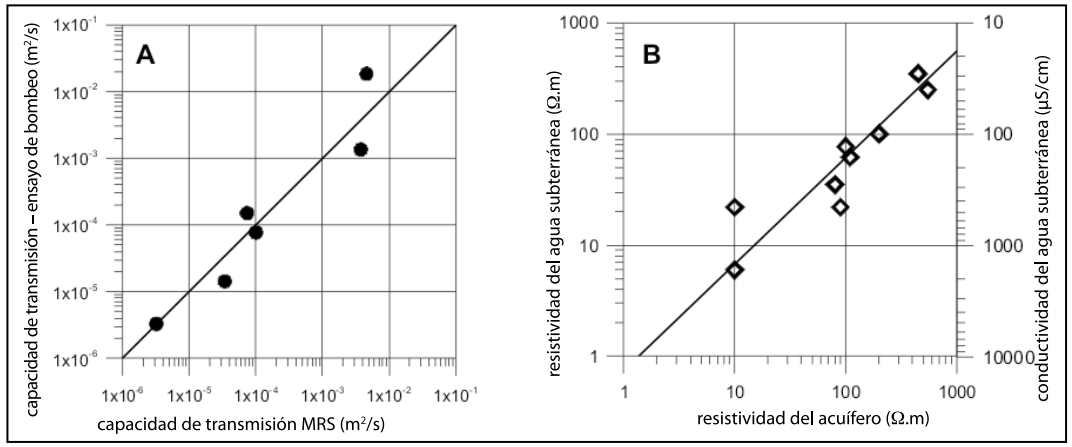


Figura 11.74: Caracterización hidráulica MRS. A: transmisividad del acuífero local B: conductividad eléctrica del agua subterránea.

Como consecuencia, los métodos basados en la resistividad y el MRS pueden ser complementarios entre sí con el consiguiente aumento de la eficacia: el MRS se puede usar para localizar agua subterránea y los métodos basados en la resistividad para verificar la mineralización del agua (Figura 11.74).

TDEM es el método que mejor se integra con el MRS en un entorno conductor como éste, ya que pueden usar ambos la misma antena transmisora, reduciendo así el tiempo de preparación. En un entorno heterogéneo, se podría usar un ERI para buscar el sitio más adecuado en el que llevar a cabo la integración TDEM/MRS.

Impacto técnico de la geofísica

En los 12 sitios investigados, el uso de métodos geofísicos permitió aumentar el porcentaje de éxitos en pozos perforados desde el 56% al 90% de un total de 36 perforaciones realizadas en este estudio concreto. Esta mejora en el porcentaje de éxitos se debió a: (1) una elección mejor de los lugares para perforar, (2) mejor gestión del equipo de perforación que recibió recomendaciones a cerca de la profundidad a perforar, (3) mejor instalación del sondeo, p.ej.: situación del filtro.

6.3.2 ANÁLISIS DE COSTES

El análisis de costes pretende medir el impacto financiero de la geofísica en un programa de perforaciones. La Tabla 11.XVI muestra el coste medio de los estudios geofísicos en la provincia de Siem Reap. El cálculo incluye el coste de personal (ingeniero, técnico y obreros), logística (compra de un vehículo, costes de operación y depreciación) y equipo de geofísica (compra, mantenimiento y depreciación). Se hizo sobre la base de 8 meses de trabajo al año (estación seca), 2 a 3 sitios investigados por semana y costes calculados sobre los gastos reales de ACF en 1998. Usando el mismo método de cálculo, el coste medio de un sondeo con éxito es de 2 380 €, comparado con los 1 260 € para uno sin éxito.

La Figura 11.75 muestra los límites coste-efectividad del uso de métodos geofísicos para la localización y diseño de sondeos (se preparó usando la fórmula presentada anteriormente en la sección 4.1.2). Empezando con el porcentaje de éxitos sin geofísica, la figura muestra el porcentaje mínimo de éxito necesario para ahorrar dinero usando la geofísica. Por ejemplo, en una situación en la que el porcentaje de éxitos sin geofísica es de 40%: (1) se ahorra dinero cuando el uso conjunto de MRS/TDEM/ERI aumenta el porcentaje de éxitos al 80%; (2) se ahorra dinero cuando el uso conjunto TDEM/MRS aumenta el porcentaje de éxitos al 70%.

Tabla XVI: Coste de los estudios geofísicos, en Euros (€).

	Personal		Equipo de geofísica			Vehículo		Número de estudios por año	Costes administrativos (8%) Coste total por estudio	
	N.°	cps	Coste de compra	Depreciación años	cps	N.°	cps			
VES	4	105	4 615	3	21	1	94	80	18	238
ERI	4	105	30 769	4	98	1	94	80	24	321
TDEM	3	74	53 846	4	151	1	83	90	25	333
MRS	3	74	92 307	4	258	1	83	90	33	448
MRS & ERI.	5	136	123 076	4	413	1	100	75	52	701
MRS & TDEM	5	127	146 153	4	460	1	94	80	54	735
MRS & TDEM & ERI	7	188	176 922	4	557	2	187	80	75	1 007

(cps=coste por estudio, dd=duración de la depreciación)

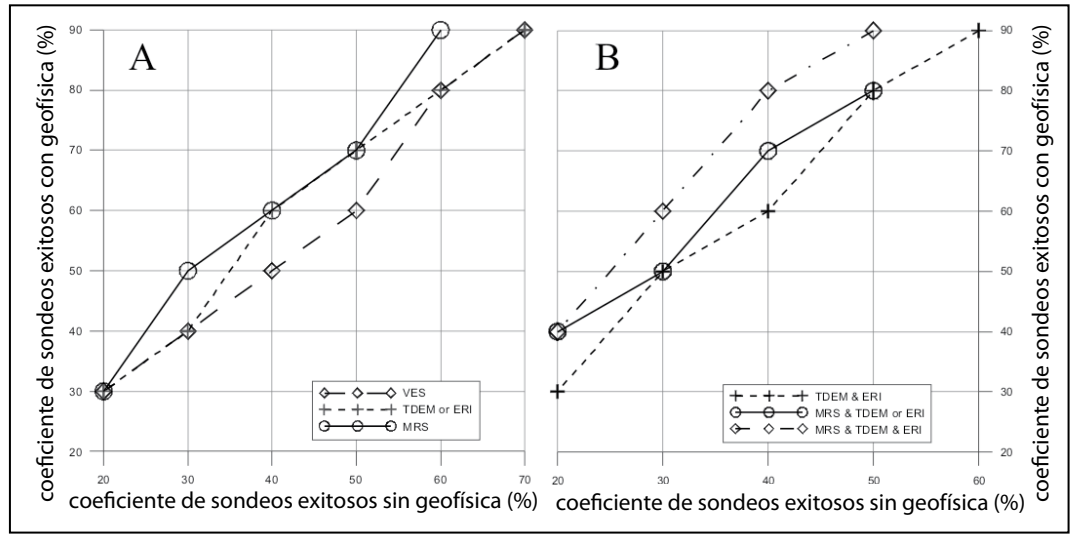


Figura 11.75: Límites coste-eficiencia de los métodos geofísicos. (A) usando un solo método; (B) usando conjuntamente varios métodos.

6.3.3 CONCLUSIÓN: METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA GEOFÍSICA

Integrando los análisis técnicos y de costes, se puede proponer un método geofísico para identificar el emplazamiento de un pozo y su diseño, en la provincia de Siem Reap. Según las distintas zonas de la provincia y conociendo el porcentaje de éxitos en sondeos, la metodología descrita a continuación puede aumentar la tasa de éxitos de las perforaciones y ahorrar dinero a la escala del programa.

Zona muy difícil: tasa de éxito de perforación sin geofísica inferior a 30%

El uso conjunto ERI/TDEM/MRS reduciría sustancialmente el número de pozos secos y ahorraría dinero si la tasa de éxito en las perforaciones se doblara. Se podría estudiar una media de un sitio al día.

Primero, se usa un ERI para elegir el mejor sitio según los contrastes lateral y vertical de la resistividad y el espesor.

Luego, se realiza un MRS en el lugar del acuífero potencial para estimar la productividad del pozo usando la Figura 11.74A. La prospección TDEM determina de forma precisa la interfase entre el acuífero que muestra resistividad y el substrato arcilloso conductor (para dar las recomendaciones al equipo de perforación). La conductividad eléctrica del agua se puede estimar utilizando el valor de resistividad de la capa identificada como el acuífero según MRS (Figura 11.74B).

Zona difícil: tasa de éxito de las perforaciones sin geofísica de entre 30 y 50%

Se recomienda el uso conjunto de un MRS con métodos basados en la resistividad (bien sea un ERI, para centrarse en la heterogeneidad si fuera necesario, o un TDEM, que es más fácil de integrar con el MRS). Este uso conjunto de métodos podría ahorrar dinero si la tasa de éxitos aumentara al menos a un 20% ó 30%. Se pueden estudiar una media de dos sitios al día.

Zona común: tasa de éxito de las perforaciones sin geofísica superior a 50%

El método VES se puede usar como el método estándar para ahorrar dinero si la tasa de éxito aumenta un 10% ó 20%, lo que parece realista hasta un porcentaje de éxito sin geofísica de 60 ó 70%. Se pueden investigar una media de dos sitios al día.

7 EJEMPLOS DE CAMPO: CARACTERIZACION DE ACUIFEROS EN ROCAS CRISTALINAS DE BASE

Los acuíferos en rocas duras tienen una importancia especial en regiones tropicales por su amplia dispersión y su accesibilidad, y por qué no suele haber fuentes alternativas disponibles para el suministro de agua. Incluso en regiones tropicales húmedas donde hay agua superficial disponible, las consideraciones sobre la calidad del agua pueden acabar favoreciendo el uso del agua subterránea. Con el fin de mejorar los procedimientos comunes de investigación de recursos hídricos subterráneos en contextos de rocas cristalinas de base, ACF realizó un estudio metodológico en Burkina Faso con el apoyo de IRD e Iris Instruments.

7.1 Antecedentes

7.1.1 ACUÍFEROS EN ROCA BASE CRISTALINA

Los acuíferos en roca base se desarrollan en la base sobrecargada meteorizada y fracturada de las rocas cristalinas que pertenecen principalmente a la edad precámbrica. El modelo conceptual común del acuífero de base describe varias zonas en la secuencia litológica. Las alteritas (regolito) están formadas por rocas meteorizadas y degradadas; sus permeabilidades varían conforme a su litología pero son bajas generalmente; juegan un papel importante en la capacidad de almacenamiento del acuífero. La zona inmediatamente inferior meteorizada y fisurada (saprock) así como la zona de base fracturada presentan generalmente una baja capacidad de almacenamiento, pero la permeabilidad aumenta generalmente a niveles más bajos debido al menor desarrollo de minerales secundarios arcillosos y a la alta permeabilidad de las fracturas abiertas.

Hay un número importante de impedimentos en el desarrollo de acuíferos de base. El porcentaje de fracasos en pozos perforados de bajo rendimiento para el suministro rural de agua es elevado en las regiones más áridas (típicamente en el entorno de 40% a 50%) y la implementación de perforaciones de alto rendimiento para suministros urbanos o para el riego es todo un desafío para los hidrogeólogos. Además la escasa capacidad de almacenamiento de los acuíferos de base a menudo acarrea la imposibilidad de mantener un rendimiento estable de los pozos.

Por ello, es necesario tanto la mejora de los métodos para la implementación de pozos perforados de alto rendimiento, como la estimación más aproximada de los recursos y de la existencia de acuíferos para ayudar al desarrollo eficiente y mantenimiento a largo plazo de los acuíferos.

7.1.2 EQUIPO Y MÉTODOS

Los acuíferos de base son de gran importancia en Burkina Faso (aproximadamente cerca del 80% del área superficial total del país). Para medir la contribución del método MRS a la caracterización de estos acuíferos, se llevó a cabo un estudio entre noviembre 2002 y enero 2003 en rocas de granito y rocas asociadas de la edad precámbrica.

El estudio de MRS se llevó a cabo alrededor de los pozos recientes perforados en las alteritas, en la zona fisurada por meteorización y en las rocas de base fracturadas. Se hicieron pruebas en los 13 pozos mediante ensayos de bombeo (duración total del bombeo de 4 horas), y 6 de ellos se usaron para realizar pruebas del acuífero (duración del bombeo 72 horas).

Las transmisividades locales de los acuíferos se calcularon a partir del período de recuperación de los ensayos de pozos y las capacidades de almacenamiento se calcularon a partir de los registros piezométricos con los métodos Theis y Jacob. La geometría de los acuíferos se dedujo de los informes del sondeo y el nivel estático del agua se midió al tiempo que se ponía en práctica el MRS. El equipo NumisPlus® fue el que se usó para la medidas MRS con un aro cuadrado de 150 m de lado. Se usó el método adaptado de recuperación de la saturación para medir el tiempo de relajación longitudinal, y la transmisividad y capacidad de almacenamiento de los acuíferos se estimaron a partir de MRS:

$$ne_{MRS} = 0{,}28 \cdot w$$

$$S_{MRS} = 4{,}3 \cdot 10^{-3} \cdot (w \cdot \Delta z)$$

$$T_{MRS} = 3 \cdot 10^{-7} \cdot (S_{MRS} \cdot (T_1{}^*)^2)$$

donde ne_{MRS} es el rendimiento específico del acuífero no confinado (%), S_{MRS} es el coeficiente de almacenamiento del acuífero confinado, T_{MRS} es la transmisividad MRS (m²/s), w y Δz son respectivamente el contenido en agua según el MRS (%) y el espesor saturado (m), y $T_1{}^*$ es el tiempo de relajación longitudinal observado (ms).

7.2 Principales resultados

7.2.1 TIPOLOGÍA DEL YACIMIENTO

Los resultados de campo obtenidos en Burkina Faso indican que el tipo de yacimiento puede estimarse a partir de los datos MRS. La Tabla 11. XVII y la Figura 11.76 indican que el valor promedio del contenido en agua es más elevado y el tiempo promedio de relajación longitudinal es menor para el agua contenida en yacimientos de regolito que para el agua contenida en yacimientos de roca fisurada-fracturada. Ello significa que la capacidad de almacenamiento es mayor y la transmisividad inferior para las zonas de regolito que para las de roca fisurada-fracturada, lo que concuerda con el modelo conceptual hidrogeológico típico. Sin embargo, los márgenes de los valores son grandes y existe una buena ambigüedad a la hora de interpretar los datos del MRS solamente.

Tabla 11. XVII: parámetro MRS y tipo de yacimiento.

Yacimiento	Contenido en agua (%)			$T_1{}^*$ (ms)		
	Máx.	Medio	Mín.	Máx.	Medio	Mín.
Alteritas	6	3	1	600	400	180
Lecho de roca Fisurada-fracturada	2,5	1	0,2	1 500	650	350

7.2.2 GEOMETRÍA DEL YACIMIENTO

La profundidad de las capas saturadas de agua obtenida por MRS se puede comparar con el nivel estático de agua del pozo perforado para un acuífero no confinado (Figura 11.77). La diferencia media con los datos de los pozos es de +/-12%, y +/-17% para la profundidad de la roca de base sin alterar (Figura 11.78). Esta caracterización se puede usar como contribución tanto en la mejor implementación de un pozo perforado (yacimiento de regolito de mayor espesor) como en la evaluación del recurso (extensión espacial del yacimiento).

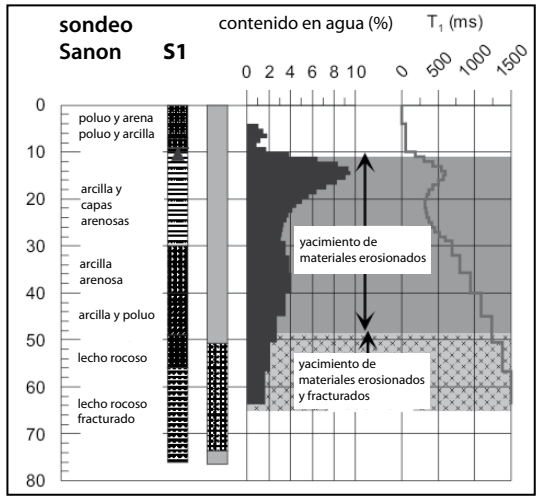


Figura 11.76: Unidades MRS y yacimientos, ejemplo del pozo perforado Sanon S1.

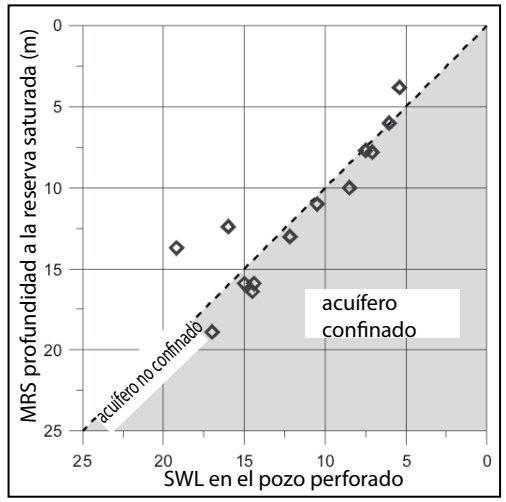


Figura 11.77: MRS y nivel estático del agua (SWL).

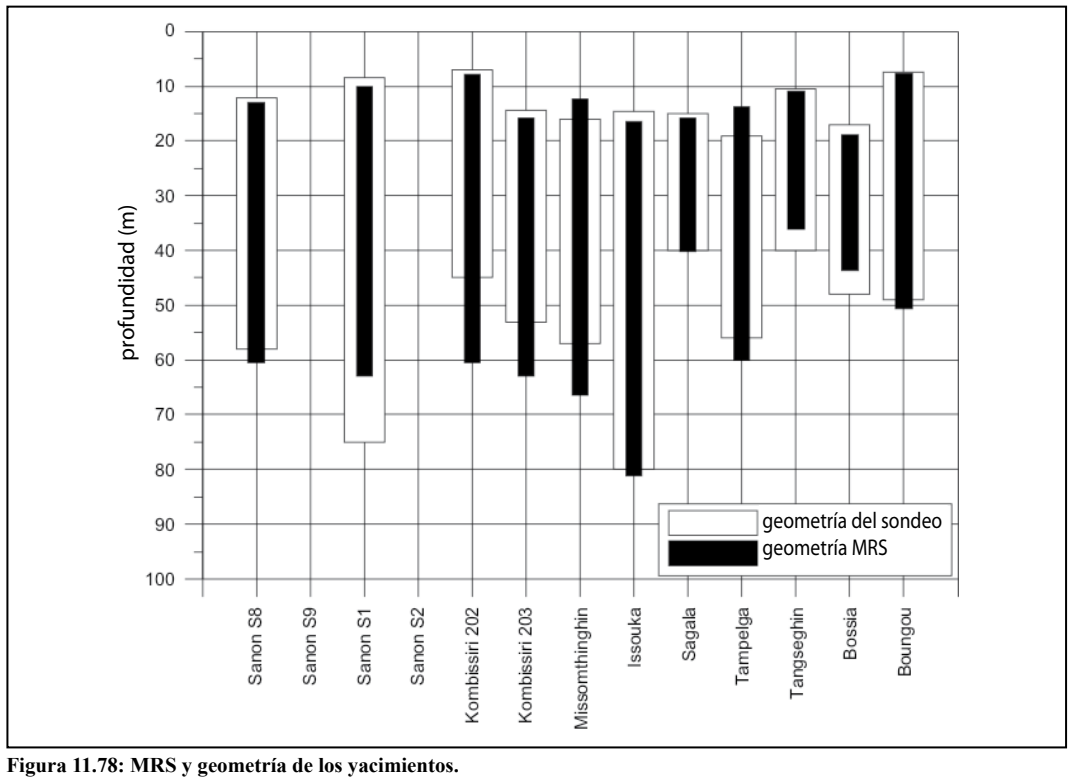


Figura 11.78: MRS y geometría de los yacimientos.

7.2.3 PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL YACIMIENTO

Las propiedades hidráulicas del acuífero se estimaron tras un proceso de calibración con los resultados de los ensayos de bombeo del pozo perforado.

La diferencia media con las propiedades calculadas a partir de los datos de las pruebas de bombeo son +/- 80% para la capacidad de almacenamiento (Figura 11.79) y +/– 41% para la transmisividad local (Figura 11.80). Estos resultados iniciales se han de confirmar con más datos, pero son ya bastante

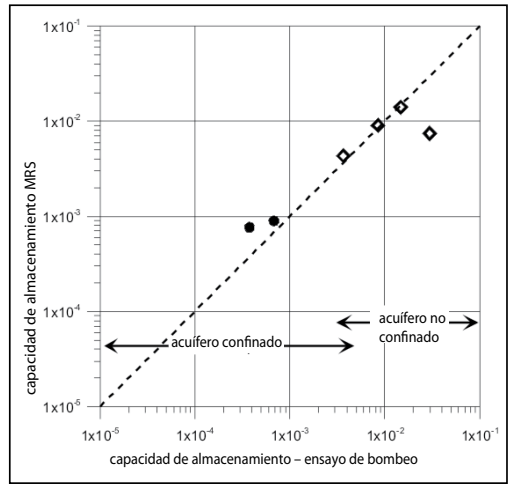


Figura 11.79: Capacidad de almacenamiento de un acuífero.

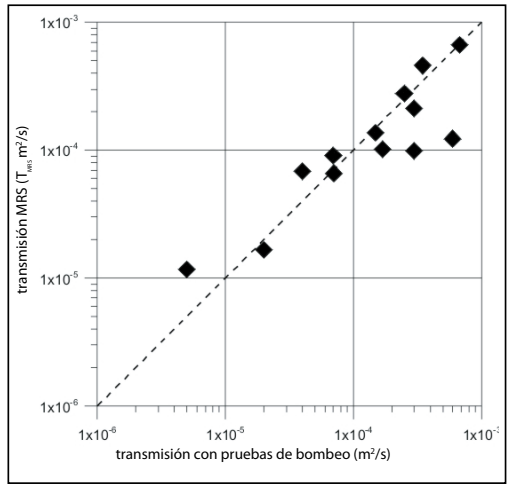


Figura 11.80: Transmisividad local de un acuífero.

optimistas y permitieron a ACF proponer el uso de MRS como una herramienta para la interpolación entre pozos para estimar las características hidráulicas de los yacimientos.

7.2.4 MEJORAS EN LA CARACTERIZACIÓN DE UN ACUÍFERO

La caracterización de un acuífero se mejora si los resultados del MRS se interpretan conjuntamente con métodos de resistividad eléctrica. Si la resolución con MRS no alcanza suficiente profundidad, las prospecciones eléctricas unidimensionales son capaces a menudo de medir la profundidad del sustrato. En contextos heterogéneos, ERI puede revelar las estructuras de los acuíferos.

Con los datos disponibles, se puede estimar adecuadamente el tipo de yacimiento si se caracteriza conjuntamente la resistividad eléctrica y la transmisividad MRS (Fig. 11.81).

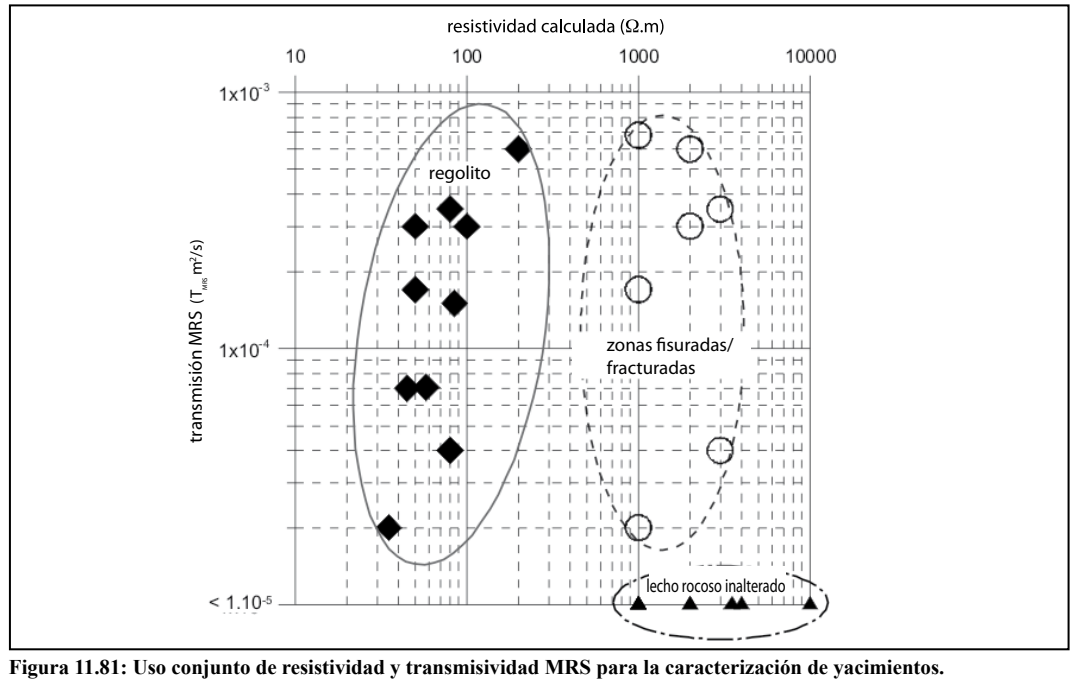


Figura 11.81: Uso conjunto de resistividad y transmisividad MRS para la caracterización de yacimientos.

7.2.5 PRINCIPALES FACTORES LIMITANTES

Los principales factores limitantes de un MRS en estos contextos geológicos son (1) el tiempo requerido para la obtención de datos, que oscila entre 6 y 20 horas debido a la baja relación señal-ruido, (2) la medida unidimensional, que no permite la descripción de la estructura del yacimiento en una escala correspondiente al tamaño del aro y (3) la pérdida de resolución con la profundidad, que no permite medir señales débiles que provienen de fracturas productivas profundas (Figura 11.82).

Este efecto de supresión afecta particularmente a las fracturas más profundas que la mitad de la longitud del lado Tx/Rx, con desarrollos de baja meteorización. La Figura 11.82 muestra un ejemplo donde las fracturas identificadas a partir de una representación de un sondeo eléctrico a una profundidad superior a 40 m no fueron medidas por un MRS que utilizó un aro cuadrado de 75 m de lado.

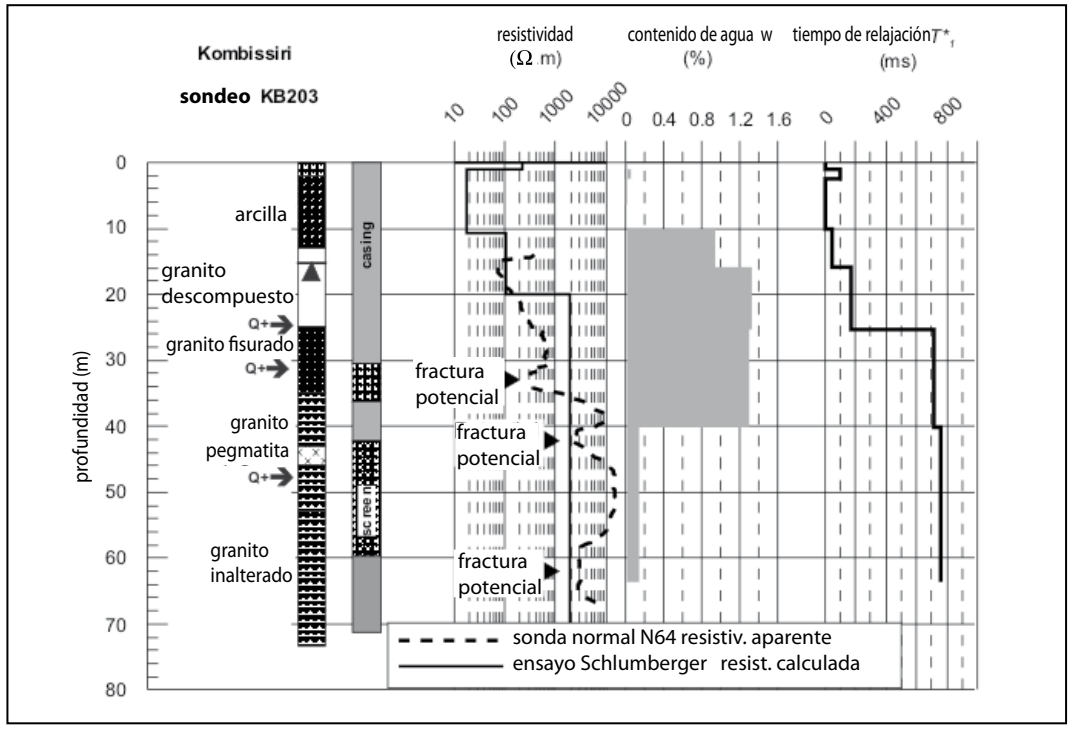


Figura 11.82: Supresión, ejemplo del sondeo Kombissiri #203.

7.3 Conclusión

Las principales conclusiones obtenidas tras comparar los resultados de un MRS con los datos de un pozo perforado son:

– la geometría de la parte meteorizada de un acuífero se describe bien con un MRS;

– la capacidad de almacenamiento y la transmisividad pueden estimarse razonablemente con los datos MRS tras su calibración con los resultados de las pruebas de bombeo del pozo;

– las principales limitaciones del MRS son la aproximación unidimensional en contextos altamente heterogéneos y la pérdida de resolución al buscar fracturas profundas y estrechas;

– el MRS es una herramienta útil para la caracterización de acuíferos en contextos de roca cristalina. Su utilización en un proceso hidrogeológico constituye un buen apoyo para los hidrogeólogos, tanto para el desarrollo de un pozo perforado como para la estimación de las reservas hídricas (ver secciones anteriores del capítulo).

8 EJEMPLOS DE CAMPO: LOCALIZACION DE ACUIFEROS KÁRSTICOS SATURADOS

La explotación y gestión de un acuífero cárstico a menudo suele ser todo un reto para los hidrogeólogos. Cualquiera que sea el estado de la karstificación, la estructura heterogénea de los sistemas cársticos conlleva un comportamiento hidrodinámico complejo y esta fuente de agua subterránea presenta dificultades, tanto en su exploración para la implementación de un pozo perforado productivo como para su protección contra la contaminación. Por lo tanto, es preciso llevar a cabo estudios específicos para desarrollar y proteger estos recursos en beneficio de todos. Con esto en mente, ACF preparó un proyecto metodológico en colaboración con IRD, el *Bureau de Recherche Géologique et Minière* (BRGM) y la Universidad de Montpellier para evaluar el impacto de la geofísica en la investigación de acuíferos cársticos.

8.1 Fundamentos

8.1.1 ENTORNO FÍSICO

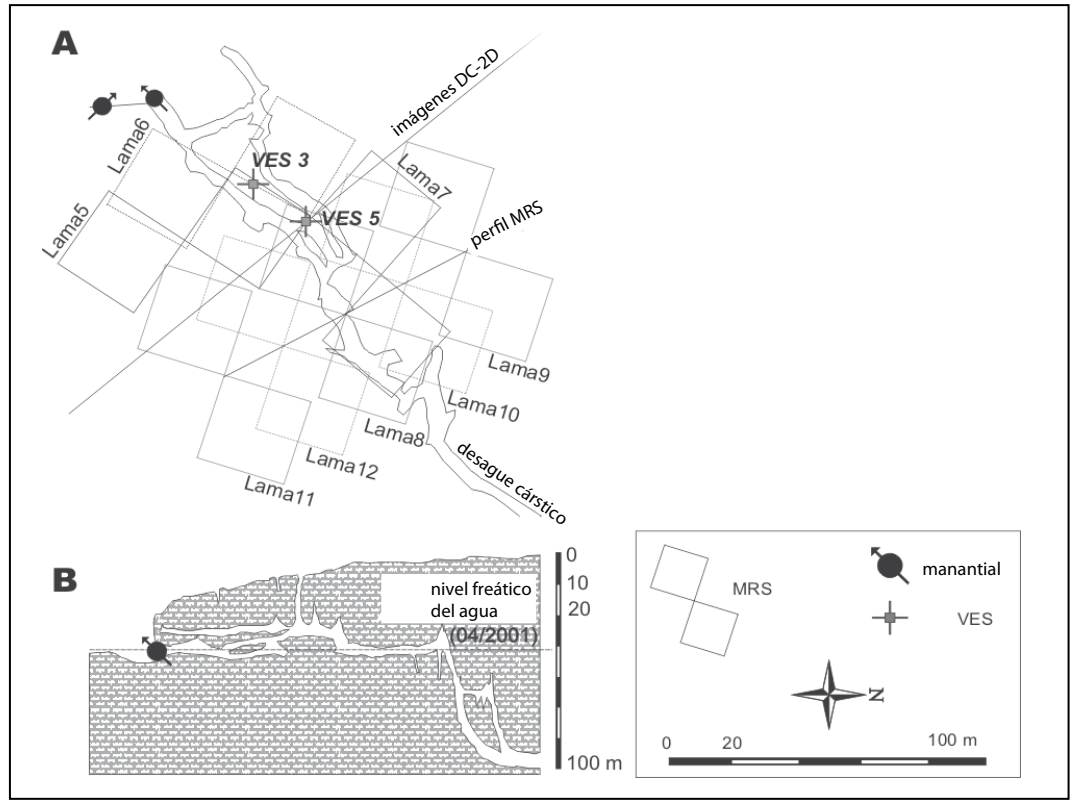


Figura 11.83: Sistema de conductos conocidos del karst de Lamalou, y situación de los estudios geofísicos. A: mapa. B: sección a lo largo del conducto.

El lugar de Lamalou está situado en la zona kárstica de Hortus, 40 km al norte de la ciudad francesa de Montpellier. Esta meseta caliza se extiende por un área de 50 km² y su altitud es de entre 195 y 512 m sobre el nivel del mar. Se compone principalmente de afloramientos calizos y únicamente hay suelo en las fisuras de las rocas. La cubierta vegetal es de arbustos mediterráneos. No hay aguas superficiales discurriendo regularmente por la meseta.

El área de Hortus consta de calizas del alto Valanginiano, de 80 a 100 m de espesor, que yacen sobre margas del alto Berriasiano hasta el bajo Valanginiano. La principal área de recarga de la meseta de Hortus descarga en el manantial de Lamalou.

El principal acuífero está en la caliza del alto Valanginiano. Su parte superior (de varios metros de espesor) se halla muy fisurada y meteorizada: esto es el epikarst, que puede estar saturado en algunos sitios (ver secciones anteriores del capítulo). Bajo el epikarst, una zona de infiltración de unos 20 m de espesor drena el agua por medio de las microfisuras y juntas hasta el karst saturado. La porosidad de la roca caliza es muy baja (1,8%) y el agua fluye principalmente a través de fisuras, fracturas y conductos cársticos. Parte del conducto principal fue explorado y dibujado por espeleólogos (Figura 11.83).

8.1.2 OBJETIVO DEL ESTUDIO Y METODOLOGÍA

Se realizó una prueba metodológica usando conjuntamente un MRS y un ERI. El objetivo principal era verificar la ayuda que podrían prestar al hidrogeólogo el MRS y el ERI en la búsqueda de agua subterránea en un karst. Los objetivos específicos fueron la verificación de la capacidad del MRS de medir y establecer diferencias entre el agua en el epikarst y el agua en el karst saturado, y la sensibilidad del ERI hacia las cuevas cársticas.

Se llevaron a cabo ocho MRS y dos ERI sobre un sistema conocido en el que ya había mapas sobre la profundidad y geometría del conducto principal y de una cueva (Figura 11.83). Se usaron dos sondeos para medir el nivel estático del agua y la litología se conoció por medio de los registros de la perforación.

Los parámetros hidrogeológicos comunes, tales como permeabilidad o porosidad, definidos en medios porosos, no se pueden usar en sistemas cársticos, por ser altamente heterogéneos. Sin embargo, se pudo usar una aproximación cualitativa para identificar las estructuras cársticas porque todas las zonas cársticas tienen su propia respuesta geofísica: el contenido en agua MRS y el período de relajación son mayores para los conductos y cavernas que contienen agua (porosidad secundaria) que para las rocas sedimentarias compactas y sedimentos (porosidad primaria) y la resistividad eléctrica de las cuevas vacías debería ser infinita en comparación con la alta resistividad de las rocas de carbonatos o con la resistividad media de las estructuras saturadas.

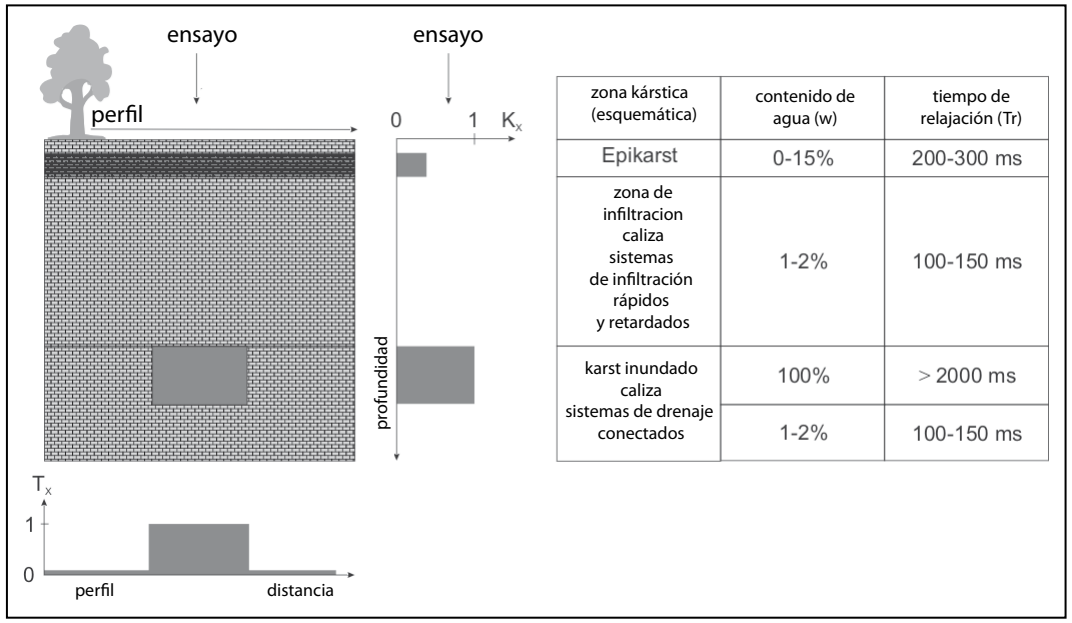
Por esto, se pudieron usar dos estimadores MRS k_x (estimador de permeabilidad) y T_x (estimador de transmisividad) que son la permeabilidad y transmisividad MRS normalizadas, para diferenciar el agua en sistemas de disolución saturada (p.ej. conductos y cuevas) de la de los sistemas insaturados y zonas epikársticas (Figura 11.84):

$$kx(z) = \frac{w_x(z)T_{lx}^2(z)}{w_r(z)T_{lr}^2(z)}$$

$$Tx = \frac{\int_z wx(z)Tlx2(z)dz}{\int_z wr(z)Tlr2(z)dz}$$

donde x y r son dos de las N prospecciones MRS (1,..., x,..., r,..., N). La referencia r se selecciona como $\{k_{xmax}(z) \leq 1\}$ o $\{T_{xmax} \leq 1\}$ para todas las prospecciones (x = 1,..., N).

Se investigó la capacidad del MRS para detectar agua de acuerdo con la profundidad y el volumen de la zona saturada usando $T_1 > 400$ ms como el indicador de las características de la disolución. Los resultados del modelo muestran que se puede identificar fácilmente el agua en cavidades de disolución saturada a poca profundidad (Figura 11.85). A mayores profundidades de investigación, se requiere un volumen de agua mayor: 100 m^3 puede ser detectable a 5 m de profundidad, mientras que a 15 m se requiere un volumen de agua de al menos 250 m^3 para que sea detectable por MRS.



zona kárstica (esquemática)	contenido de agua (w)	tiempo de relajación (Tr)
Epikarst	0-15%	200-300 ms
zona de infiltracion caliza sistemas de infiltración rápidos y retardados	1-2%	100-150 ms
karst inundado caliza sistemas de drenaje conectados	100%	> 2000 ms
	1-2%	100-150 ms

Figura 11.84: Estimadores MRS como herramientas para la determinación de estructuras cársticas saturadas.

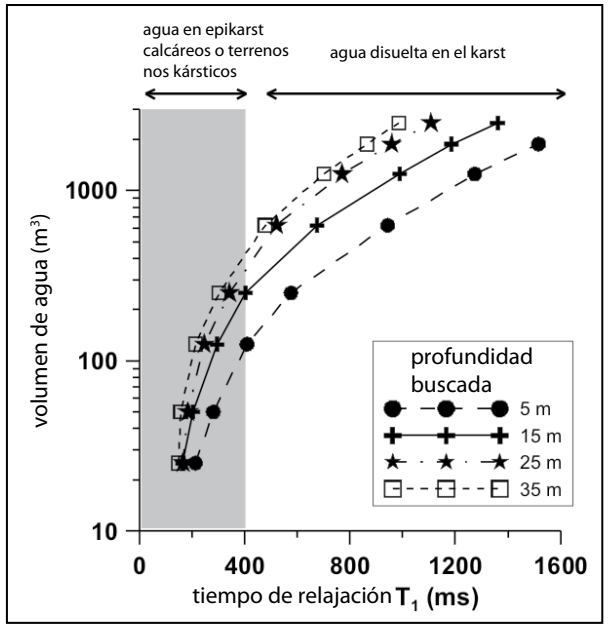


Figura 11.85: Volumen de agua libre necesario (w=100% & T_1=1500 ms) para medidas por MRS en un medio kárstico (w=1% & T_1=150 ms).

8.2 Ejemplo de terreno

8.2.1 LOCALIZACIÓN POR MRS DE UN KARST SATURADO

Se usaron el equipo NumisPlus® desarrollado por IRIS Instruments y BRGM y el programa de inversión 'Samovar'. Se usó un aro en forma de ocho para mejorar la relación señal-ruido, que llevó a estimar el volumen investigado como si fuera un tubo paralelo de 120x50x50 m. Una clara limitación del uso del MRS, que es un método unidimensional de prospección, para investigar un objetivo

bi o tridimensional, y es que promedia la información a lo largo de la longitud de la antena. Para obtener figuras bidimensionales se prepararon triangulaciones con interpolación lineal de los datos MRS (Figura 11.86).

Cartografía Karst

Se dibujó el mapa usando un estimador-T calculado con el Lama7 del MRS como referencia (Figura 11.86A). Muestra claramente un canal de alta transmisividad que concuerda bien con el conducto cárstico conocido. La contribución de las medidas MRS a la confección del mapa, p.ej. su capacidad de medir agua subterránea, está relacionada con la posición del aro Tx-Rx. Si la superficie del aro cubre una cantidad suficiente de agua subterránea, la señal de la resonancia magnética puede medirse (Lama 7, 8, 10), pero si el aro sólo cubre parcialmente el agua subterránea, la señal puede ser demasiado débil para poder medirse (Lama 5 y 6).

Pseudo sección Karst

El contenido en agua oscila entre 0 y 1,7% (Figura 11.86B). El máximo se alcanza cerca del conducto conocido y tiene un espesor de unos 1,5 m. de agua que llena toda la anchura del conducto. Hay una segunda masa de agua algunos metros por debajo de la superficie con un contenido máximo de agua de 0,6% localizado alrededor del ensayo MRS Lama 12. Podría tratarse del área saturada conocida en el epikarst.

La sección del tiempo de relajación (Figura 11.86 B) muestra tiempos de relajación superiores a 400 ms para el área conocida del conducto, e inferiores a 400 ms para el epikarst y la piedra caliza.

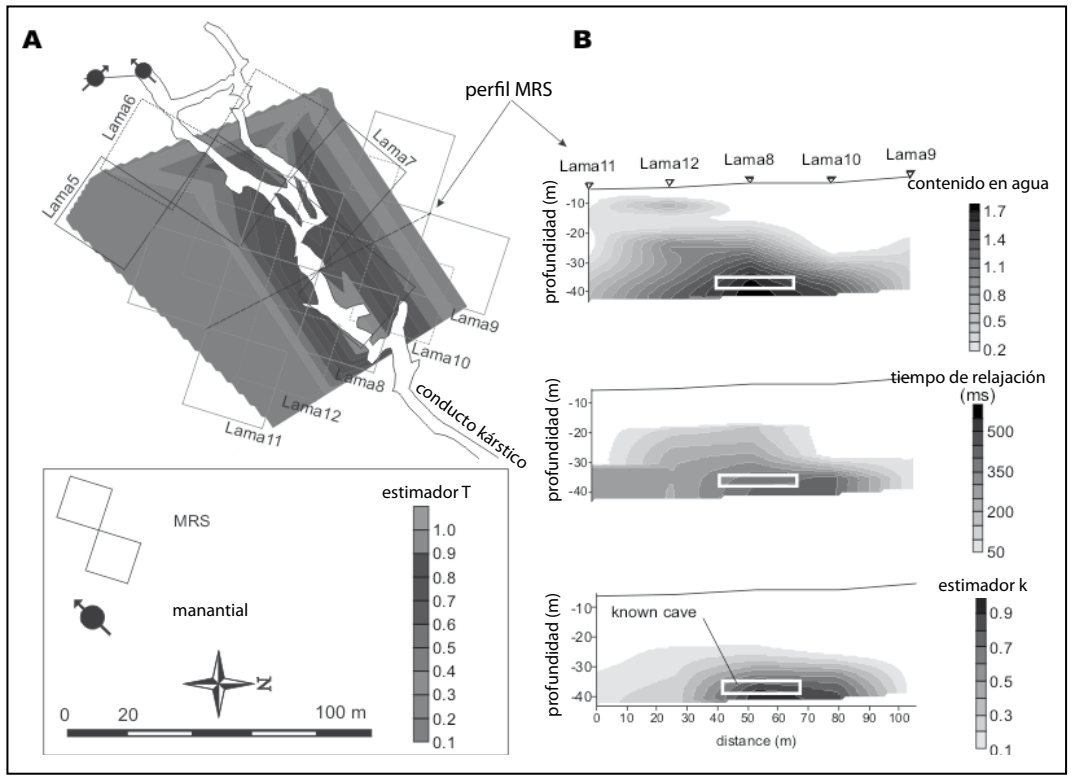


Figura 11.86: Localización MRS del Karst. A: cartografía del usando el estimador T. B: Sección transversal usando el estimador k.

8.2.2 ESTIMACIÓN DE LA ESTRUCTURA KARST CON EL ERI

Se realizaron dos ERIs con el sistema Syscal® R2 de IRIS instruments con 64 electrodos y un espaciamiento entre los electrodos de 4 m. Los datos se interpretaron con el programa RES2DINV.

La Figura 11.87 presenta la inversión de la representación Wenner. Las dos anomalías con resistividades de 20 000 Ω·m situadas entre 10 y 30 m de profundidad concuerdan bastante bien con la cavidad conocida y con el ángulo de inclinación de las capas calizas medidas tanto en los afloramientos como en la propia cavidad. Sin embargo, se realizó un modelo que demostró que la cavidad en sí misma no se podía identificar con el ERI. Lo que se pudo identificar fue la fractura que se extendía desde el techo de la cavidad hasta la superficie y que creaba una anomalía detectable de la resistividad.

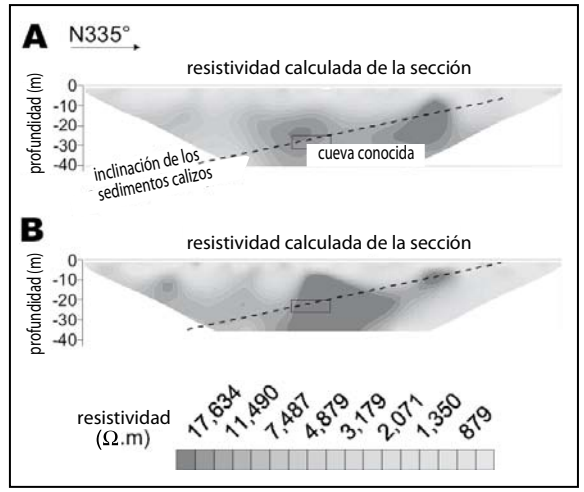


Figura 11.87: Interpretación del ERI.
A: dispositivo Wenner.
B: dipolo-dipolo (Wenner beta).

8.3 Conclusión

El MRS es una herramienta útil que puede tener su sitio en la caja de herramientas del hidrogeólogo para su aplicación sobre medios cársticos, porque puede estimar las variaciones espaciales de la permeabilidad y transmisividad comunes a todas las formaciones cársticas que contienen agua (como en el epikarst, conductos y cavidades). Sin embargo, ha de haber cantidad suficiente de agua para que envíe una señal medible. A efectos prácticos, el hidrogeólogo puede usar la Figura 11.85 para estimar si el objetivo geológico puede detectarse por el MRS, p.ej. si la cantidad de agua subterránea y su profundidad pueden generar una señal medible.

Hay que tener en cuenta también que la geometría de estructuras tridimensionales solo puede estimarse aproximadamente con prospecciones unidimensionales.

En caso de medidas magnéticas de baja intensidad, p.ej. pequeñas cantidades de agua o agua a gran profundidad, la duración de una medida MRS puede tardar 20 horas (varios centenares de datos apilados): en un entorno cárstico, se puede programar una media de una prospección al día.

En un contexto de tan alta resistividad, el ERI puede medir la señal inducida directamente por las estructuras geológicas hasta una profundidad de 10 m (según la configuración usada). Estructuras más profundas creadas por disolución, tales como cuevas o conductos, pueden detectarse si van asociadas a anomalías menos profundas tales como fracturas.

En Lamalou el suelo es básicamente de roca caliza. Por ello, para situar los electrodos correctamente, fue necesario perforar agujeros en la roca y rellenarlos con una mezcla arcillosa para asegurar un buen contacto. Esto llevó mucho tiempo y solo se pudo completar una imagen por día.

CAPÍTULO XII

Aguas subterráneas. Pozos excavados

1 Pozos modernos 295
1.1 Trabajos superficiales 296
1.1.1 El brocal 296
1.1.2 El cubeto (faldón) y el desagüe 296
1.2 Extracción manual de agua 296
1.2.1 Poleas y tornos 297
1.2.2 El 'Shaduf' 298
1.3 Diámetro 298
1.4 Entibamiento de un pozo 299
1.5 Columna de captación 299
2 Técnicas de construcción 299
2.1 Excavación 299
2.1.1 Seguridad 299
2.1.2 Técnicas de excavación 300
2.2 Entibamiento 300
2.2.1 Terreno estable, entibamiento ascendente 301
2.2.2 Terreno inestable, entibamiento descendente 302
2.2.3 Arenas blandas, hincado del entibamiento con la captación 303
2.2.4 Anclajes 303
2.2.5 Espesor del entibamiento, mezclas de hormigón y refuerzo 303
2.3 Captación independiente 303
2.3.1 Anillos prefabricados 304
2.3.2 Ejecución de la columna de captación en el fondo del pozo 304
2.3.3 La corona cortante (de avance) 305
2.3.4 Hincado de la columna de captación por su propio peso 305
2.3.5 Paquete de grava 306
2.4 Desarrollo / puesta en servicio del pozo 307
2.5 Uso de explosivos 307
2.6 Pozos profundos en Malí 308
3 Rehabilitación de pozos 309
3.1 ¿Por qué rehabilitar? 309
3.2 Rehabilitación del entibamiento 310
3.2.1 Rehabilitación del entibamiento existente 310
3.2.2 Entibamiento y captación nuevos 310
3.2.2.1 Pozos estrechos 310
3.2.2.2 Pozos anchos sin entibamiento 310
3.2.2.3 Relleno de la excavación 310
3.3 Limpieza y ahondamiento 311
4 Desinfección 312
5 Ejemplo de campo. Ejecución 312
5.1 Estimaciones cuantitativas 312
5.2 Tiempo necesario para la construcción de un pozo 313
5.3 Planificación para la construcción de diez pozos 314
6 Ejemplo de campo. Recursos necesarios 314
6.1 Recursos humanos 314
6.2 Materiales 314
6.3 Equipo 316

Un pozo es una excavación, generalmente manual, que permite llegar a un acuífero situado a cierta profundidad de la superficie. La profundidad y el diámetro del pozo dependen de las condiciones locales. A través de la historia los pueblos han construido pozos para asegurarse una fuente de agua permanente.

1 POZOS MODERNOS

Los pozos tradicionales raramente están entibados, o están entibados solamente en algún tramo, normalmente con madera, por lo que el pozo se debe re-excavar y rehacer de forma periódica. Como son sencillamente agujeros excavados en el terreno, pocas veces están protegidos de la contaminación superficial (agua contaminada).

Algunos pozos se construyen utilizando piedra o ladrillo. Los ejemplos clásicos son los pozos de pastoreo construidos en el Sahara durante el periodo colonial, con una profundidad de varias docenas de metros y de 2 a 3 m de anchura.

Los pozos excavados más modernos, que son objeto de este capítulo, se entiban con hormigón armado en toda su profundidad, desde la superficie hasta la sección de captación. Las técnicas de construcción han sido contrastadas y los pozos en contextos de pastoreo pueden llegar a alcanzar profundidades de 100 m. Tienen una anchura de 2 m para poder explotar los acuíferos del Sahel, y normalmente están equipados con varias poleas. Se obtienen cantidades significantes de agua (utilizando tracción animal) para el abrevamiento de animales.

Los pozos excavados en las comunidades son más modestos, llegan a tener profundidades de 20 a 30 m, con equipos de extracción manuales (cubos, marmitas, poleas, tornos o bombas manuales).

La gran ventaja del pozo excavado en relación con los pozos perforados es su capacidad de almacenamiento (relacionada con su diámetro) y la capacidad de extracción manual. Su permanencia lo hace muy conveniente para la región de Sudán-Sahel, y otras regiones aisladas o remotas. El coste de construcción es elevado, por lo que debe tenerse muy en cuenta la calidad de su construcción y la durabilidad.

Cuadro 12.1
Pozo combinado.

En ciertas cuencas sedimentarias, existen acuíferos confinados cubiertos por capas impermeables y situados a mucha profundidad (docenas e incluso centenares de metros) pero con el nivel estático cerca de la superficie. Estos acuíferos, accesibles con pozos perforados, se explotan con pozos cuya profundidad varía con el nivel estático. Esto facilita la extracción manual. Los acuíferos continentales del Sahara (Malí, Níger) son normalmente de este tipo; las bombas no son necesarias, pues su gestión sería difícil en estos contextos (población nómada).

Estos pozos excavados actúan como tanques subterráneos y herméticos de almacenamiento de agua. Se excavan próximos a un pozo perforado o alrededor de él, y se conectan con un tubo horizontal soldado al entubamiento del pozo perforado y dotado de una válvula de compuerta abierta.

Este tipo de pozo es una buena solución para almacenar agua en la explotación de acuíferos de escaso caudal. En el Capítulo XVI se muestra un ejemplo de pozo combinado construido por ACF en Asia.

1.1 Trabajos superficiales

Las obras superficiales de un pozo son un componente fundamental en términos de la calidad del agua, porque con ellas se protege el pozo de la infiltración de agua superficial y se facilita el acceso y la extracción de agua. Están diseñadas para drenar el agua superficial y llevarla lejos, limitar el riesgo de caída de objetos y evitar el acceso de animales. Los detalles de diseño se recogen en el Anexo 14.

1.1.1 EL BROCAL

Es un muro bajo alrededor de la parte superior del pozo, como si fuera una prolongación del entibamiento, que asegura y protege el pozo contra el barro y la arena que pueda caer de la superficie.

En los pozos que pretendan taparse e instalar una bomba manual, se recomienda que el brocal sea más bajo (menos de 0,5 m de alto, espesor de 0,2 m). Un brocal más alto (mayor de 0,5 m, espesor de 0,3 m) es lo que se recomienda en la región del Sahel (protección contra las tormentas de arena).

1.1.2 EL CUBETO (FALDÓN) Y EL DESAGÜE

Se utiliza una losa de hormigón armado para dirigir el agua sobrante hacia un canal de desagüe (pendiente mínima del 5% y longitud mínima de 3 m). El canal termina en un zócalo de desagüe.

Si no es posible conseguir un desagüe natural (hacia un terreno más bajo o hacia una zanja), se debería considerar la construcción de un pozo ciego (ver Capítulo XIX). Sin embargo, se colmatará rápidamente con agua contaminada (barro, grasa, jabón, etc.) por lo que deberá tener un mantenimiento periódico para que mantenga su eficacia.

Drenar el agua hacia un jardín o huerto pequeño es una alternativa válida. Se puede construir un área de piedra limpia alrededor del faldón. Se puede considerar también, dependiendo del contexto, la construcción de una valla de protección y abrevaderos para los animales (Figura 12.1).

1.2 Extracción manual de agua

Los sistemas de extracción de agua tienen una importancia fundamental en la calidad de la misma. En su concepción se ha de tener en cuenta el riesgo de contaminación del punto de agua. Un cubo y una cuerda húmeda que se dejan en el suelo se contaminan con barro, heces, etc., cada vez que se extrae agua. Por lo que en cada inmersión el cubo y la cuerda contaminan el agua. Como cada usuario tiene su propio cubo, el riesgo de contaminación se multiplica.

Figura 12.1: Obras de superficie de los pozos (ACF, Camboya, 1998).

La extracción de agua con cubos o marmitas es muy frecuente. Aunque la instalación de una bomba manual es una solución recomendable generalmente, no siempre es apropiada (gran demanda en los pozos pastorales, mantenimiento, grandes variaciones en el nivel del agua, etc.). Más adelante se incluyen algunos ejemplos de sistemas de extracción sencillos. Estos sistemas deben cumplir los siguientes criterios:

- asegurar un caudal suficiente para la población, así como una extracción fácil y segura;
- el diseño debe asegurar que las cuerdas y cubos o cualquier otro tipo de recipiente permanezcan siempre en el pozo y sean utilizados únicamente para la extracción del agua;
- evitar que los recipientes y las cuerdas se dejen en el suelo y sean causa de contaminación.

1.2.1 POLEAS Y TORNOS

Deben ser duraderos y diseñados de forma apropiada (altura y número de poleas) para que sean usados satisfactoriamente por los usuarios (Figura 12.2).

Los pozos de pastoreo están dotados normalmente de varias poleas montadas en horquetas de madera que se colocan alrededor del brocal del pozo para permitir a varias personas extraer agua de forma simultánea (con tracción animal).

El torno evita que la cuerda entre en contacto con el suelo y se contamine, sin embargo este sistema no siempre es aceptado por la población, porque no aporta caudal suficiente en los pozos de pastoreo.

El 'delou' (polea y tracción animal) se usa normalmente en riegos.

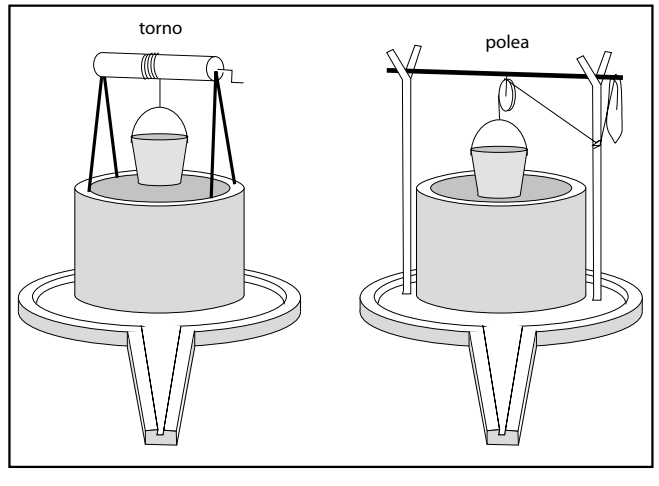


Figura 12.2: Extracción manual de agua.

1.2.2 EL 'SHADUF'

Este sistema, ampliamente utilizado en Asia en pozos poco profundos, protege el agua de la contaminación superficial debida a los cubos. Es también muy útil para la extracción de los materiales sueltos durante la excavación (Cuadro 12.2).

Cuadro 12.2
Principio de funcionamiento del shaduf.

– Definir el punto A (Figura 1), el nivel más bajo del agua (nivel dinámico de agua) durante la extracción.

– Asegurar que los usuarios puedan llegar al brazo de extracción.

– La distancia entre el punto de apoyo del shaduf y el pozo (OB) debería ser tal que el arco definido por el contrapeso sea suficientemente grande.

– El brazo de elevación debe ser rígido (madera) y las conexiones flexibles de los extremos deben ser cortas.

– El contrapeso debe situarse en el extremo del brazo de alzado, a un tercio de la longitud del brazo OB desde el punto de apoyo.

– El contrapeso se determina teniendo en cuenta que hay que elevar sin esfuerzo el recipiente de agua lleno; el esfuerzo se realiza cuando se baja el recipiente al pozo.

– El punto de apoyo debe permitir la basculación tanto en un plano vertical como en uno horizontal (fijaciones de cuero o goma).

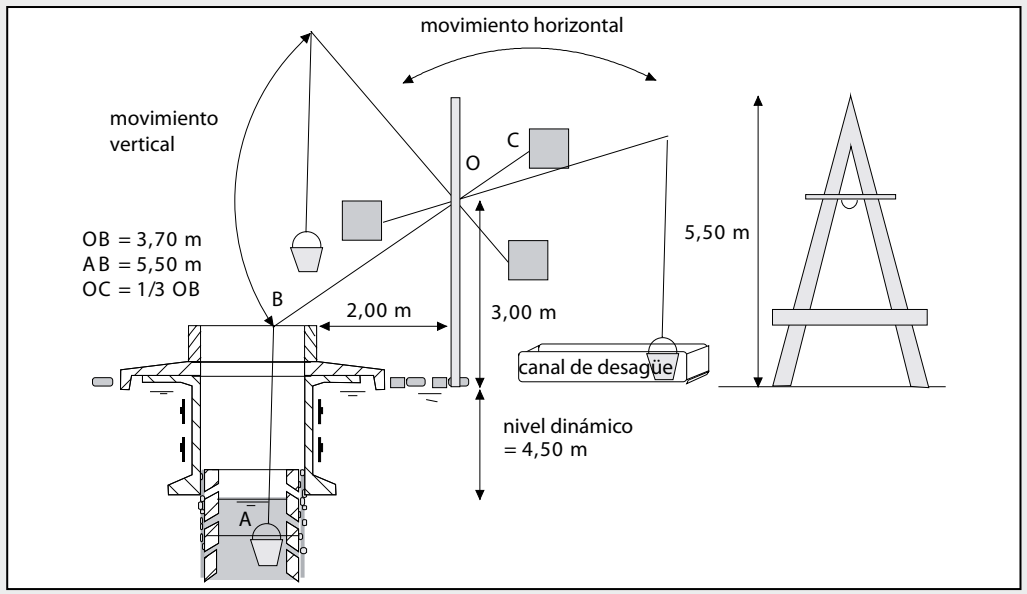


Figura 1: Shaduf.

1.3 Diámetro

El diámetro del pozo varía según el uso, profundidad y caudal. Los diámetros más grandes se usan para los pozos de pastoreo (usuarios múltiples) o para los acuíferos poco profundos o poco productivos. El pozo tiene una capacidad significativa de almacenamiento que se llena cuando no se usa.

Existen dos técnicas de construcción:

– captación autónoma: la columna de captación se introduce telescópicamente por dentro del entibamiento del pozo (Figura 12.3);

– entibamiento captante: hay anillos de entibamiento perforados en la base del pozo.

Los diámetros interiores más comunes son de 1 a 1,2 m para pozos con entibamiento captante (profundidad menor de 15 m).

Para pozos con captación autónoma:

– entibamiento de 1,40 m de diámetro exterior y de1 m de diámetro interior para el tramo de captación en pozos comunitarios que se usan para obtener agua potable;

– entibamiento de 1,80 m de diámetro exterior y de 1,40 m de diámetro interior para la sección de captación en pozos de pastoreo, sujetos a un uso intensivo que permite la extracción simultánea a seis personas. En pozos de mayor diámetro la cantidad de materiales de construcción es ya muy elevada.

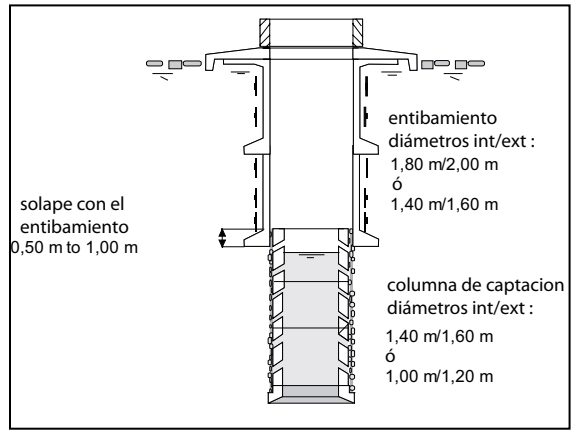


Figura 12.3: Entibamiento de pozos con captación autónoma.

Los pozos de menor diámetro son demasiado estrechos para trabajar holgadamente en el interior.

1.4 Entibamiento de un pozo

El entibamiento se extiende desde la superficie hasta el nivel estático del acuífero (nivel freático). Su función es el sostenimiento de las paredes de tierra o roca y evitar la infiltración de agua superficial o de acuíferos superficiales no deseables (contaminados o de agua salada).

La técnica más efectiva es el entibamiento *in situ* utilizando moldes metálicos durante la construcción del pozo. La ventaja de esta técnica es que proporciona un entibamiento de una sola pieza que es mucho más resistente y estanco que una columna de anillos encajados uno encima de otro. Cuando se utilizan anillos, el sellado de la columna es peor y no es extraño que haya deflexiones laterales por movimientos del terreno.

1.5 Columna de captación

Es la sección sumergida del pozo y su función consiste en permitir la entrada de agua al tiempo que evita la entrada de partículas sólidas finas (arena, sedimentos, etc.). Se construye a base de anillos perforados (o porosos) y está diseñada para alcanzar una profundidad que asegure el abastecimiento de agua durante todo el año, incluso durante la estación seca.

Teóricamente, esta sección del pozo debería excavarse durante un período de bajo nivel de agua (nivel estático más bajo). Si no se hace en este momento, el nivel de agua en el momento de la excavación tendrá mayor cota.

La cota del agua en la sección de captación depende de las variaciones anuales del nivel de agua y del caudal que se extraiga del pozo (ver Capítulo XIV).

2 TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN

2.1 Excavación

2.1.1 SEGURIDAD

La construcción y rehabilitación de pozos excavados son actividades que conllevan la subida y bajada de personas y materiales a varias docenas de metros de profundidad, lo que significa que hay que asumir algunos riesgos si no se establecen y se respetan unas normas de seguridad.

Peligros potenciales

Caída de personas en el pozo, caída de herramientas y material, hundimiento del suelo, accidentes con las herramientas, con las bombas de achique eléctricas (cables eléctricos pelados), gases tóxicos de los motores de la bomba o el uso de explosivos.

Medidas de seguridad

– Uso sistemático del material de seguridad: cascos, botas, guantes, gafas de seguridad, arneses, material para subida y bajada de anillos prefabricados de buena calidad (poleas, tornos, chasis, etc.).

– Refuerzo (entibamiento) de las paredes del hoyo en las zonas con riesgo de derrumbamiento.

– Las personas no pueden estar en contacto con el agua cuando se usan bombas eléctricas.

– Para achicar agua es preferible usar bombas neumáticas a las eléctricas.

– Verificar la ventilación en el fondo del pozo (cantidad y calidad) mientras trabajen los operadores.

– No usar motores dentro del pozo para evitar la producción de gases de combustión.

– Tapar y proteger adecuadamente el agujero fuera de las horas de trabajo.

2.1.2 TÉCNICAS DE EXCAVACIÓN

La excavación de un pozo debe ser lo más vertical posible en toda su profundidad. Se recomienda marcar en el suelo un círculo de igual diámetro al de la excavación, y marcar el eje de la excavación con una plomada (Figura 12.4). El diámetro de la excavación debe ser comprobado periódicamente usando una plantilla (Figura 12.5).

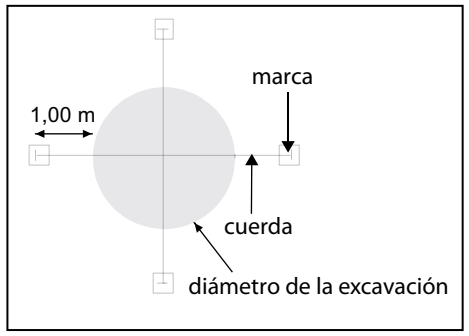


Figura 12.4: Marcando el eje de la excavación.

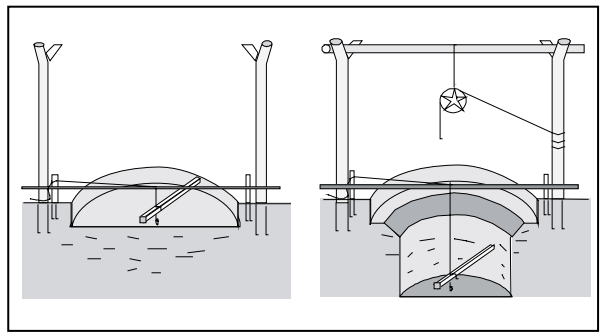


Figura 12.5: Uso de la plantilla.

La excavación se realiza desde el centro hacia la pared. El material excavado se saca periódicamente a la superficie con un cubo o marmita.

En la parte superior de la excavación (sobre el suelo) se instala un trípode con un torno manual o motorizado para subir o bajar materiales y/o personal. En pozos poco profundos, este trípode se puede reemplazar por un pórtico con una polea (debería estar dotado de un sistema de bloqueo para operaciones de descenso, por seguridad).

La excavación se puede hacer con un cubo que se eleva con un torno de caída libre (grúa motorizada). Este tipo de equipo es especialmente útil para dragar pozos y para excavaciones en terreno poco compactado o por debajo del nivel freático.

2.2 Entibamiento

Las técnicas para la construcción del entibamiento y la sección de captación dependen de la estabilidad del terreno encontrado durante la excavación. Existen tres técnicas diferentes (Tabla 12.I).

Tabla 12.I: Técnicas de instalación del entibamiento y de la captación.

Naturaleza del terreno	Entibamiento	Captación
Terreno estable	Entibamiento in situ ascendente	Independiente con anillos de avance
Terreno inestable y/o pozo de más de 10 m de profundidad	Entibamiento in situ descendente	Independiente con anillos de avance
Terreno suelto y/o pozo de menos de 15 m de profundidad	Entibamiento apilado sobre un anillo de avance	Anillo captante perforado en la base del entibamiento

2.2.1 TERRENO ESTABLE, ENTIBAMIENTO ASCENDENTE

En los terrenos donde se puede excavar con pico, y donde no hay riesgo de derrumbamiento (algunas areniscas, arcillas, etc.), la técnica consiste en el entibamiento del pozo desde la parte baja hacia arriba. La excavación se inicia desde la superficie y sigue hasta el nivel freático (Figura 12.6).

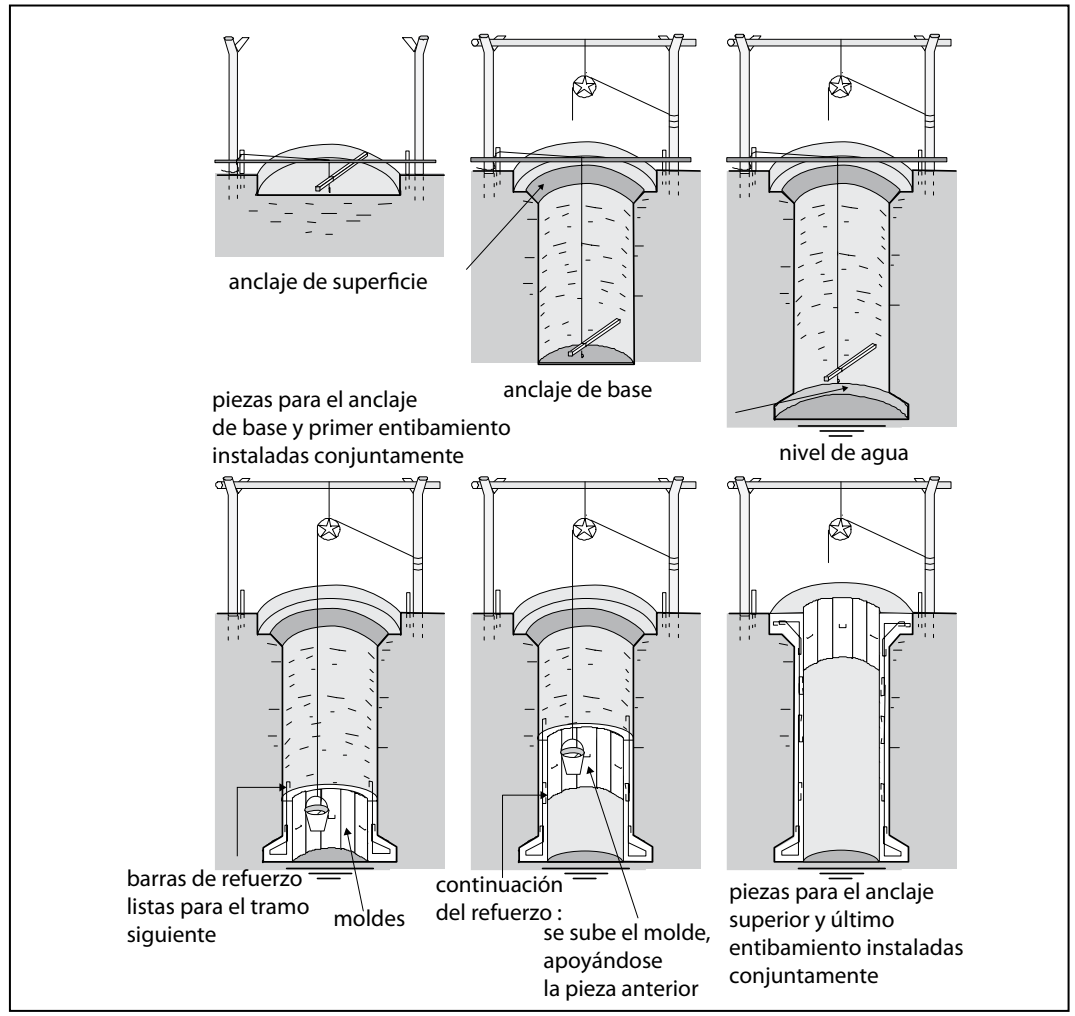


Figura 12.6: Entibamiento ascendente.

La primera sección del entibamiento se forja en el fondo de la excavación, al mismo tiempo que el anclaje de base. Es entonces cuando se colocan las barras del refuerzo, con una longitud mayor que la del molde para solapar con la sección siguiente (ver Figura 12.8A).

Se bajan los moldes situándolos bien centrados, utilizando la plomada y se asegura su verticalidad. Se colocan de una vez dos o tres secciones del molde de forma que se puedan forjar dos o tres metros de una sola vez.

Se vierte el hormigón (350 kg de cemento por m^3) y se vibra con un martillo neumático o un rodillo vibrador. Se puede desencofrar a las 8 horas.

Si durante la excavación se detecta inestabilidad en el terreno la operación debe detenerse y el método de entibamiento será descendente, tal y como se describe más adelante.

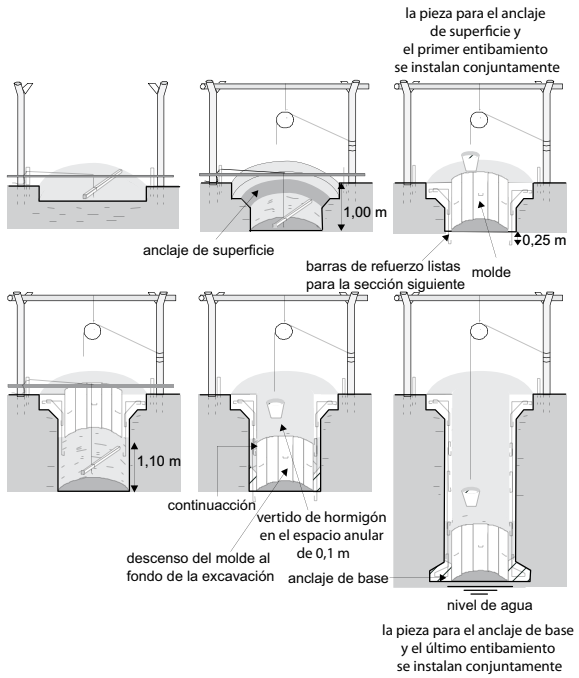


Figura 12.7: Entibamiento descendente.

2.2.2 TERRENO INESTABLE, ENTIBAMIENTO DESCENDENTE

En terrenos donde exista peligro de derrumbamiento (arenas, gravas, etc.), es esencial construir el entibamiento en secciones de 1 metro a la vez que progresa la excavación (Figura 12.7).

En la práctica, cuando se ha excavado el primer metro y se ha preparado el terreno para el anclaje de superficie, se colocan las barras de refuerzo (Figura 12.8B) y los moldes. El proceso continúa de la forma siguiente:

Excavación de una sección de profundidad 1,10 m:

– colocación de las barras de refuerzo uniéndolas con las del grupo anterior (altura vertical total del refuerzo 1,35 m);

– colocación del molde dejando libres 0,10 m en la parte superior;

– vertido del hormigón tapándose a mano los 0,10 m libres con la sección solapada del refuerzo superior;

– desmoldeado tras 8 horas.

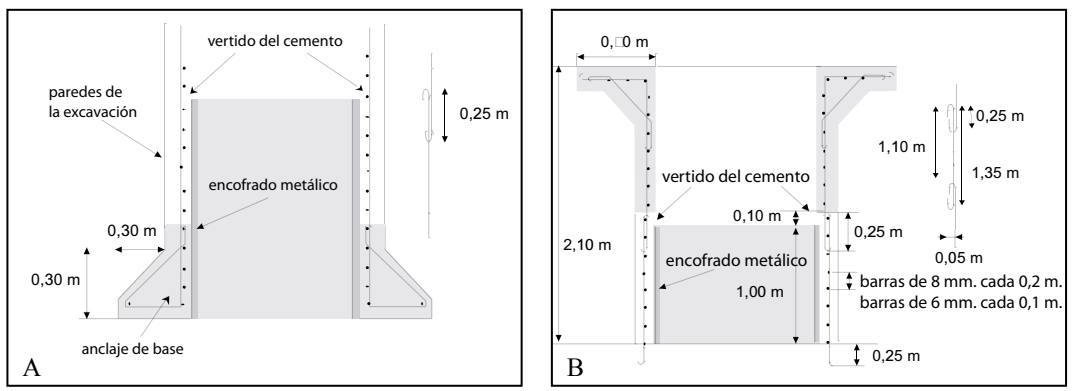


Figura 12.8: Métodos de refuerzo para entibamientos ascendentes (A) y descendentes (B).

2.2.3 ARENAS BLANDAS, HINCADO DEL ENTIBAMIENTO CON LA CAPTACIÓN

Esta técnica se aplica en terrenos arenosos o en pozos poco profundos (menos de 15 m). Actualmente se usa para construir pozos en pueblos y en huertos.

La base del entibamiento, constituida por anillos perforados, constituye la zona de captación. El entibamiento y la captación forman una estructura continua, que se instala excavando simultáneamente con el avance, como se hace con una columna independiente de captación (ver Sección 2.3).

Esta técnica no permite la construcción del anclaje de fondo del pozo, y la columna queda suspendida desde el anclaje de superficie, que se debe construir con el máximo cuidado. Asimismo, la ejecución de los filtros de grava es complicada, y el nivel de la captación debe determinarse previamente (el número de anillos para la zona de captación debe decidirse antes de llegar al acuífero).

Para este tipo de pozos, se pueden utilizar anillos de hormigón filtrante. Este tipo de anillos tienen tres alturas (Figura 12.9), dos impermeables y una porosa. Estos anillos no son armados y la capa de hormigón poroso está formada exclusivamente de grava y cemento (1 volumen de cemento por 4 de grava). Como estos anillos no están reforzados, se deben respetar rigurosamente la dosis de cemento y el tiempo de fraguado. Además, no es aconsejable su utilización en suelos inestables. El diámetro exterior no debe exceder 1,30 m. La ventaja de esta técnica es que filtra el agua (sin arena) aunque no se haya instalado el filtro de grava. Estos anillos son más baratos y ligeros que los normales.

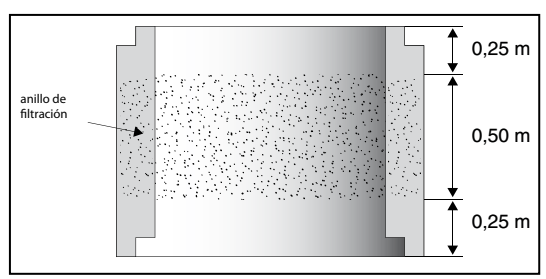


Figura 12.9: Anillos de hormigón filtrantes

2.2.4 ANCLAJES

Los anclajes son fundamentales y se construyen en la parte superior, en el fondo y cada 10 m en pozos de más de 20 m de profundidad. Su papel consiste en absorber los esfuerzos verticales creados por el peso de la columna.

El anclaje de la superficie está formado por una corona de 0,80 m de anchura total situada encima del tubo del revestimiento, los anclajes intermedios y de base sobresalen 0,30 m de la superficie exterior del entubamiento (Figura 12.10).

2.2.5 ESPESOR DEL ENTIBAMIENTO, MEZCLAS DE HORMIGÓN Y REFUERZO

El espesor del entibamiento y la trama del refuerzo se determinan teóricamente por los esfuerzos a resistir. Sin embargo, los esfuerzos del terreno sobre el entibamiento son pequeños y difíciles de medir de forma precisa (las fuerzas son de compresión). El diseño se simplifica utilizando modelos estándar para el espesor del entibamiento y usando anillos de hormigón armado para el pozo de 10 cm y unas barras de refuerzo de 8 mm de diámetro y mallas de 20 cm (o barras de 6 mm con malla de 10 cm).

El hormigón se prepara mezclando 350 kg de cemento por m^3 para el entibamiento y 400 kg/m^3 para la sección de captación; y 300 kg de cemento/m^3 para el mortero.

2.3 Captación independiente

Este tipo de captación es independiente del entibamiento del pozo. Consiste en una columna de anillos perforados de menor diámetro que se introduce por el interior del entibamiento del pozo (Figura 12.3).

La excavación progresa hasta el nivel estático y se achica el agua. La sección de anillos de captación se hinca utilizando una corona cortante de avance (ver Sección 2.3.3) que desciende por el propio peso: la inundación es un punto crítico en la construcción de un pozo. El pozo se ha de mantener seco con el achique necesario (ver Capítulo XVII) o con un achicador operado con una grúa motorizada.

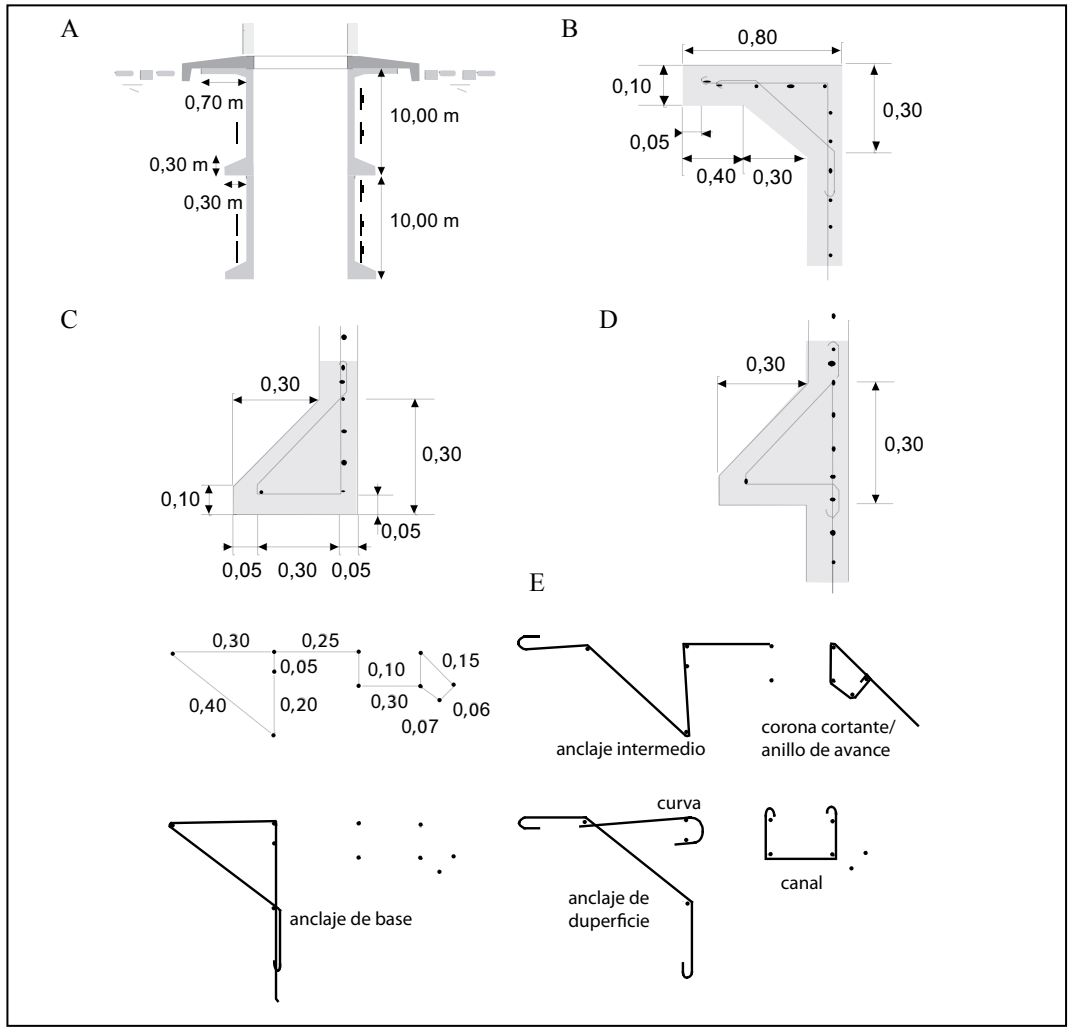


Figura 12.10: Refuerzo de los anclajes del entibamiento.

2.3.1 ANILLOS PREFABRICADOS

La sección de captación se ejecuta con anillos prefabricados perforados de hormigón armado, apilados desde la parte inferior del pozo. Existe el riesgo que se desestabilicen y se ladeen durante el hincado lo que pondría en peligro todo el proceso. Para facilitar el descenso, la altura de los anillos se limita a 50 cm. Se bajan hasta el fondo con la ayuda de un torno (ver Figura 12.13 B y C).

Las perforaciones, espaciadas a intervalos de 10 cm, se realizan usando barras de refuerzo de 8 ó 10 mm, que atraviesan los moldes por agujeros practicados en el mismo. Las barras deben untarse con aceite y girarse periódicamente para facilitar el desmolde (Figura 12.11).

2.3.2 EJECUCIÓN DE LA COLUMNA DE CAPTACIÓN EN EL FONDO DEL POZO

La utilización de elementos prefabricados puede ahorrar una semana de tiempo. Sin embargo, es preferible forjar la columna directamente en el fondo del pozo, sellando las secciones con el solape de los refuerzos.

El molde se coloca en el fondo del pozo. El refuerzo del primer anillo se realiza con barras que sobresalen de la corona de corte, después se vierte el hormigón. El molde se puede retirar al final de la tarde y luego se forja la sección siguiente.

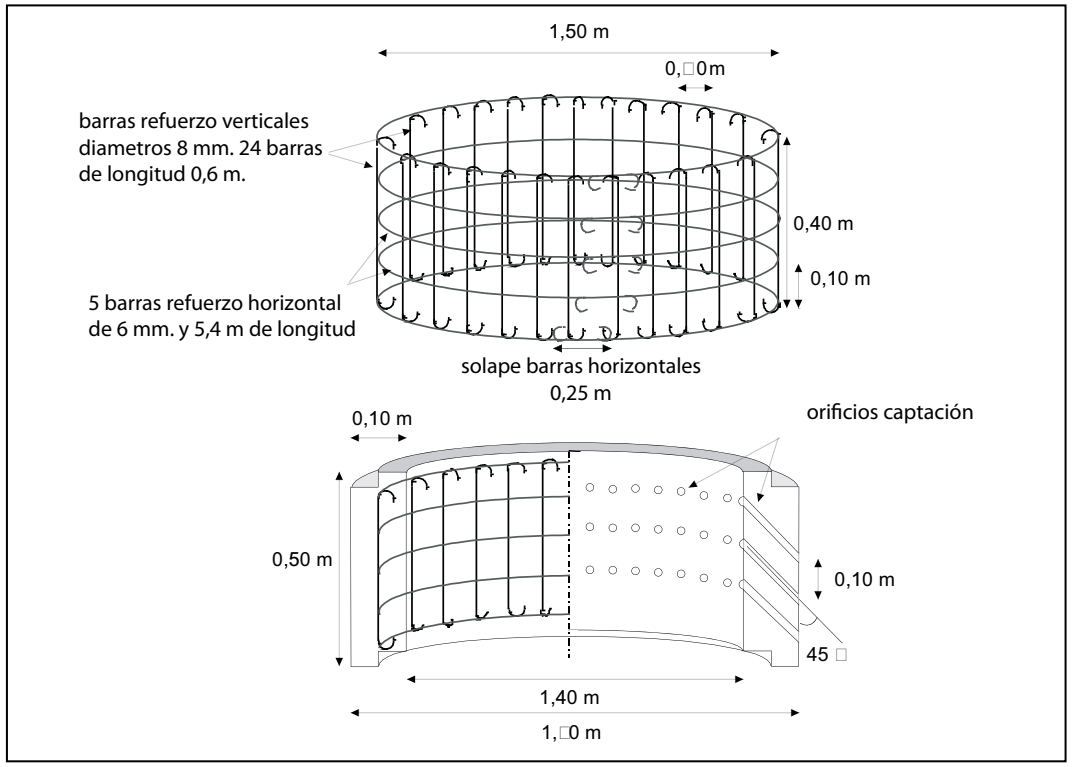


Figura 12.11: Refuerzo de los anillos perforados

2.3.3 LA CORONA CORTANTE (DE AVANCE)

Es un anillo de hormigón de borde biselado algo más ancho que el resto de los anillos, que va en la base de la columna de captación (Figura 12.12). Su función es facilitar el descenso de la columna en el terreno, y permitir que haya suficiente espacio como para que se pueda colocar el paquete de grava (ver Sección 2.3.5) entre los anillos y las paredes de la excavación.

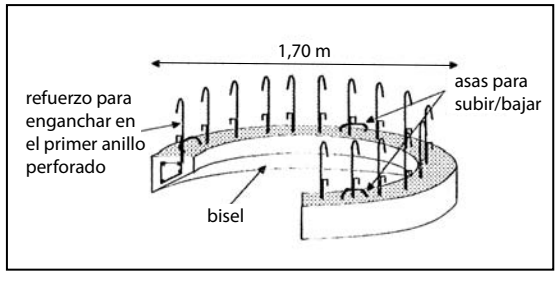


Figura 12.12:
Corona de corte 1,4 / 1,6 m de diámetro.

2.3.4 HINCADO DE LA COLUMNA DE CAPTACIÓN POR SU PROPIO PESO

Cuatro listones de madera de 4 cm de espesor se introducen entre el entibamiento y la columna de captación, sobresaliendo 10 cm por encima de la columna para que actúen como marcas de referencia y como puntos para comprobar que la columna desciende verticalmente (Figura 12.13.A-C).

El pozo se excava por el interior de la columna, periódicamente se limpia el perímetro biselado de la corona cortante para que descienda de forma vertical. Si la corona queda encajada en uno de los listones, se excava por debajo de la corona cortante en el lado contrario del listón para enderezar la columna.

Se va colocando el paquete de grava en el espacio entre la columna y las paredes del terreno durante la excavación (ver más abajo).

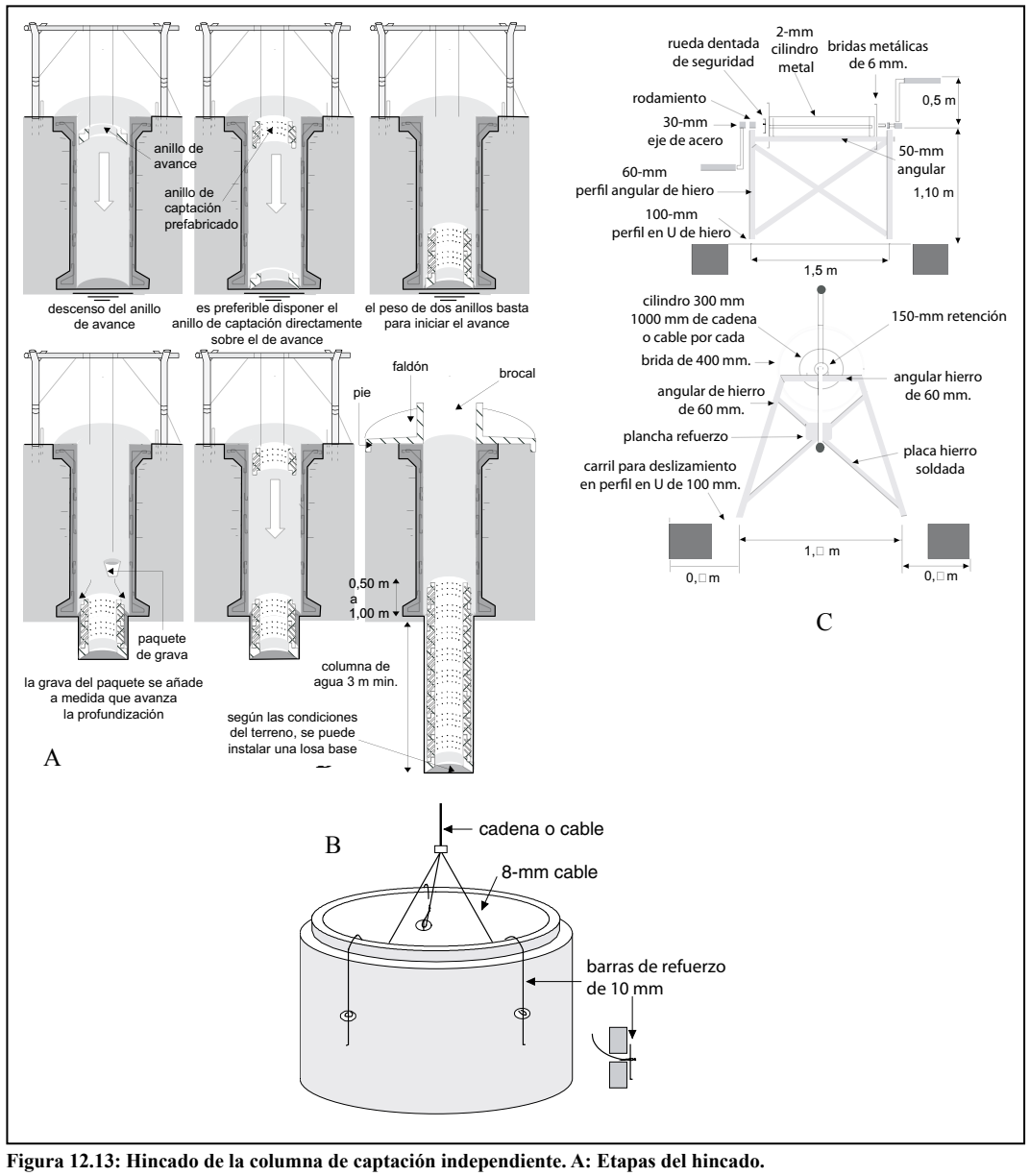


Figura 12.13: Hincado de la columna de captación independiente. A: Etapas del hincado. B: Sistema de elevación de los anillos perforados. C: Torno para el descenso de los anillos perforados.

Finalmente, si el terreno es inestable y muy fino, se coloca en el fondo del pozo un lecho de grava y sobre él una base de hormigón constituida por dos bloques semicirculares perforados con agujeros de 10 mm de diámetro cada 15 cm.

2.3.5 PAQUETE DE GRAVA

Consiste en grava de tamaño de 10 a 15 mm, preferiblemente silícea y redondeada (evitar grava laterítica o caliza), distribuida alrededor de toda la columna de captación del pozo con un espesor de 5 cm. Su función es la de retener las partículas finas del suelo permitiendo el paso del agua. Es una parte esencial de la captación.

2.4 Desarrollo / puesta en servicio del pozo

Una vez terminada la construcción, se procede al desarrollo del pozo. Es una operación importante que sirve para eliminar las partículas finas y aumentar la permeabilidad alrededor de la captación lo que aumentará el caudal específico de entrada (a veces de forma considerable). Permite la limpieza completa del pozo y una estimación de su rendimiento (ver Capítulo XIV). Se emplean para ellos dos métodos:

– *Desplazar un achicador* (recipiente metálico cilíndrico de 50 litros). El método consiste en mover el achicador (Figura 12.14), por debajo de la superficie del agua, hacia arriba y hacia abajo como un émbolo/pistón. Las fases de agitación con el achicador se alternan con fases de bombeo, primero a caudal bajo y luego aumentándolo progresivamente hasta que se obtenga agua clara.

– *Bombeo*. Aumentando el caudal de achique de forma progresiva, el pozo se limpia de las partículas finas alrededor de la columna de captación. Teóricamente, una bomba de achique diseñada para trabajar con agua turbia sería la ideal para este servicio, pero se puede usar también una bomba sumergible (ver Capítulo XVII).

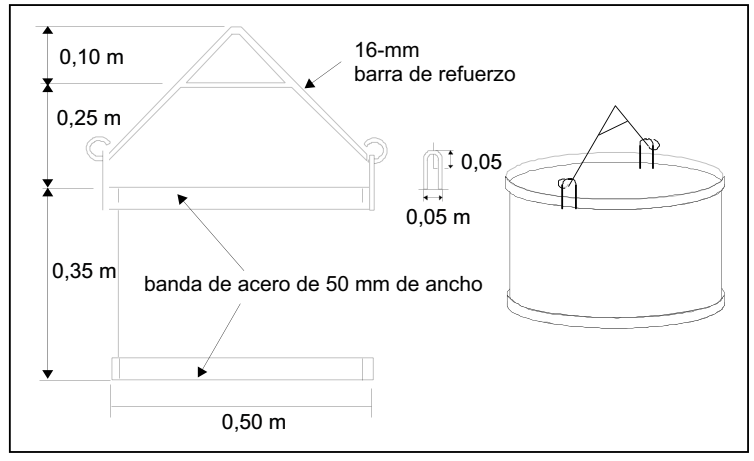


Figura 12.14: Achicador.

2.5 Uso de explosivos

Los equipos de ACF excavan pozos en contextos geológicos muy variados alrededor del mundo. Las excavaciones en formaciones duras se deben realizar con martillos de percusión. Sin embargo, en ciertos contextos geológicos (presencia de rocas poco o nada descompuestas), el uso del martillo de percusión puede resultar tedioso o imposible (progreso extremadamente lento, desgaste excesivo de las herramientas y cansancio de los equipos de excavación). No obstante, en algunos casos puede ser necesario atravesar roca dura para llegar a un acuífero en una roca inferior fracturada y alterada.

En el macizo de Ifoghas en Malí, en 1998, los equipos de ACF solucionaron este tipo de problema usando explosivos.

Tras varios años de experiencia, los resultados pueden considerarse positivos. Los ritmos de progreso en formaciones de granito no alterado o ligeramente alterado en la región son variables, alrededor de 25 cm por voladura. La excavación de un pozo con explosivos cuesta aproximadamente el doble que la excavación manual (excluyendo el coste del entibamiento).

El método se puede resumir en:

– excavar los barrenos para el explosivo (entre 6 y 12, dependiendo del esquema de voladura), de 1 m de profundidad aproximadamente;

– introducir los paquetes de explosivo con los cordones detonantes;

– introducir arcilla en los barrenos para el explosivo, comprimiéndola;

– conectar los cordones de detonación (6 a 12) a un detonador eléctrico;
– conectar el detonador a una batería o detonador;
– voladura;
– esperar a que se sedimenten los gases de la voladura;
– limpiar los escombros y dar forma a las paredes del pozo con una herramienta neumática.

Para usar esta técnica hay que comprar el equipo adecuado: una herramienta neumática y un compresor de aire, un detonador eléctrico, paquetes de dinamita, cordones detonantes, cables eléctricos y una batería (o detonador).

Nota: Debido al peligro que encierran los materiales usados, es preciso entrenar a los equipos en técnicas de voladura. En cada país, existe legislación específica que regula el uso de explosivos. Por ello, se deberá incluir en el proceso de formación la regulación específica de cada país antes de cualquier intervención. Las leyes regulan la compra, el transporte, el almacenamiento y el uso de explosivos. Es fundamental contactar con el servicio o ministerio adecuado para obtener los permisos necesarios para poder llevar a cabo esta actividad. En los casos donde no exista una autoridad competente, la actividad sólo se podrá llevar a cabo si existe un especialista que garantice la seguridad.

2.6 Pozos profundos en Malí

Los primeros pozos modernos construidos en Malí datan de la época colonial francesa. Todavía continúan en servicio y tienen las características de un pozo moderno de 180 cm de diámetro. Con las condiciones hidrogeológicas del norte de Malí la profundidad de alguno de estos pozos supera los 100 m. En este contexto, las técnicas de excavación no cambian, pero los materiales se deben adaptar para facilitar el trabajo de los equipos de excavación.

ACF – Malí ha construido pozos con captación independiente y pozos cisterna. La máxima profundidad en los primeros es de 90 m y en los segundos de 70 m. Esto conlleva varias dificultades. Hay que tener en cuenta las consideraciones siguientes:

• *Seguridad de los equipos.* Las reglas de seguridad son las mismas para cualquier profundidad (casco, botas, cuerdas de seguridad, arneses, etc.), pero la profundidad aumenta la necesidad de aplicar reglas estrictas que eviten la caída de una persona o cualquier objeto. Durante la fase de construcción los alrededores del pozo deben estar libres de objetos sueltos, y las herramientas deben bajarse con cuidado.

• *Equipo de bombeo.* Cuando se superan los 40 m, las bombas ordinarias de achique (tipo DOP 15 N) no se pueden utilizar, por lo que se hace difícil achicar agua. Inicialmente, se utilizó un achicador de 200 litros de capacidad que se manejaba con una grúa, pero esto causaba un gran esfuerzo en el motor del torno (Hatz). Actualmente el agua se bombea con una bomba achicadora eléctrica de alta presión de descarga (marca FLYGT, modelo BIBO 2084 HT 250). Esta bomba es capaz de extraer 10 m^3/h desde una profundidad de 80 m, y funciona con un generador de 30 kVA (la bomba y las piezas cuestan 12 000 euros, y el generador 10 000 euros).

• *Instalación del entibamiento.* El diámetro (180 cm.), las técnicas de excavación y las características del hormigón armado son convencionales. Para grandes profundidades es preciso que la calidad del trabajo sea muy elevada, especialmente en los puntos críticos, como los anclajes (cada 10 m), el refuerzo, en especial el recubrimiento de la armadura y la calidad de las juntas entre secciones (revestimiento *in situ* descendente). Se debe cuidar especialmente la fabricación del hormigón ya que su calidad garantizará una larga vida útil. La calidad del hormigón depende de los áridos (limpieza, dureza, forma y tamaño efectivo), del cemento (CPA 45 es una buena garantía) y de la proporción en que se usan los materiales. La mezcla normal para 1 m^3 de hormigón es 350 kg de cemento (hasta 400 kg), 800 l de grava y 400 l de arena. La profundidad de la construcción hace que normalmente se tengan que atravesar acuíferos que no son de interés (no perennes). La presencia de esta agua interfiere con el forjado: en estos casos se puede utilizar un acelerante de fraguado resistente al agua como el SIKA 4A.

• *El dragado de pozos antiguos.* Es parte del trabajo de ACF, al rehabilitar antiguos pozos coloniales. Esta rehabilitación requiere un proceso de dragado inicial. Para este trabajo se puede utilizar una cuchara de extracción tipo SECMIL / BP 55. Se suspende de una grúa cabrestante que permita la limpieza del fondo de un pozo que contenga agua. Por ejemplo, es corriente dragar 25 m de arena de un pozo de 120 m de profundidad.

3 REHABILITACIÓN DE POZOS

3.1 ¿Por qué rehabilitar?

Rehabilitar un pozo tiene a menudo una mejor relación coste-efectividad que la construcción de uno nuevo ya que se necesita menos trabajo. Además, existen ya reglas de utilización para los pozos en uso mientras que para los nuevos habría que redefinirlas.

Al inspeccionar un pozo que se va a rehabilitar se necesita prestar atención especial a los elementos que protegen el pozo de la contaminación superficial y/o a la infiltración de agua contaminada (Tabla 12.II). Un pozo rehabilitado debe estar protegido de la contaminación y debe suministrar un caudal satisfactorio a todos los usuarios (Figura 12.15).

Tabla 12.II: Formas de contaminación en un pozo (ver también Capítulo XX).
Un pozo debe situarse al menos a 30 m de una fuente de contaminación (letrinas, puntos de vertido de basuras, etc.). En la mayor parte de los casos una distancia de 30 m es suficiente (no suele haber trazas de residuos fecales más allá de unos pocos metros), excepto en terrenos fisurados.

Vía de contaminación detectada	Protección posible
Contaminación superficial	Sistema limpio de extracción de agua (bombas, tornos, poleas, shaduf)
Contaminación por cuerda y cubo	Brocal, faldón (cubeto) y canal de desagüe
Contaminación por los alrededores	Valla protectora contra animales
Infiltración por superficie contaminada o agua subterránea	Entibamiento impermeable Losa Entorno saludable (letrinas situadas a más de 30 m, ningún punto de vertido de basuras ni evacuación de aguas residuales aguas arriba del pozo)

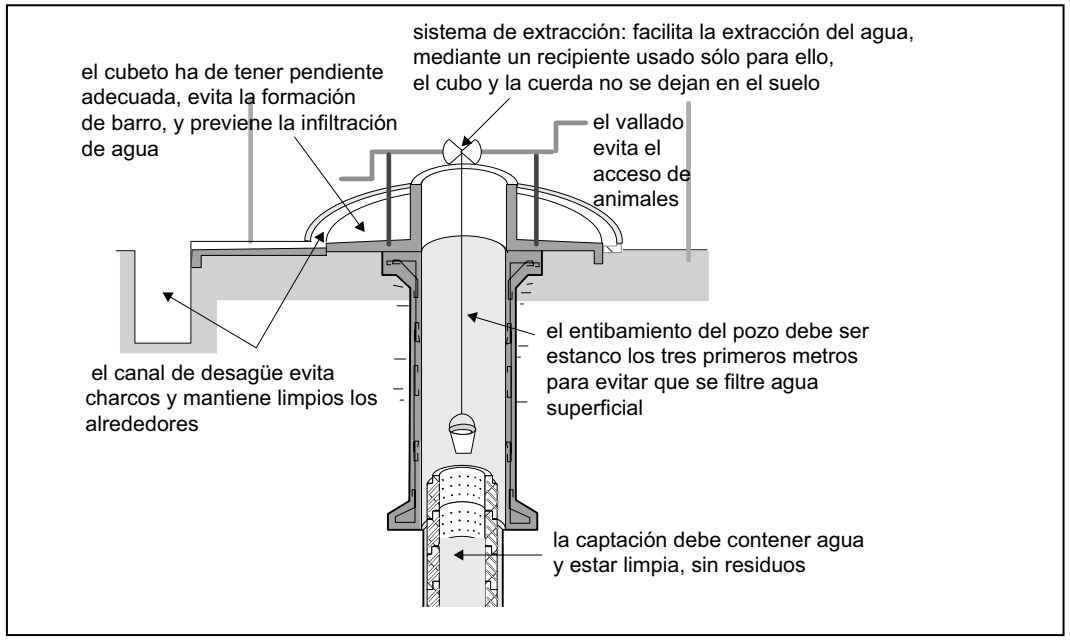


Figura 12.15: Protección de un pozo contra la contaminación.

3.2 Rehabilitación del entibamiento

3.2.1 REHABILITACIÓN DEL ENTIBAMIENTO EXISTENTE

Excepto en algunos casos raros donde el hormigón no es de buena calidad, los entibamientos de hormigón armado suelen tener una duración larga y suele ser suficiente arreglar las fisuras con un mortero reparador.

Por otra parte los entibamientos de mampostería deben ser revisados cuidadosamente prestando atención especial a las juntas hechas con mortero para asegurar el sellado, sobre todo en la parte superior.

3.2.2 ENTIBAMIENTO Y CAPTACIÓN NUEVOS

3.2.2.1 POZOS ESTRECHOS

Si el pozo no está entibado y es de diámetro inferior al entibamiento previsto, es mejor volver a excavar el pozo haciendo el entibamiento como si fuera un pozo de nueva construcción.

Si el pozo que se va a rehabilitar tiene un entibamiento (de hormigón o mampostería) que debe ser reparado pero que es difícil, siempre existe la posibilidad de forjar un revestimiento nuevo dentro del antiguo, en toda la altura. Esto se llama a veces re-entibado. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el entibamiento viejo debe tener un diámetro suficientemente grande para poder acoger el revestimiento nuevo y la columna de captación.

En caso de que exista un desplazamiento lateral de la columna, deberá ser demolido, al menos parcialmente. Se debe estimar con cuidado el coste del equipo necesario (martillo perforador) el tiempo y recursos a emplear en comparación con la construcción de un pozo nuevo, antes de emprender cualquier tipo de acción.

3.2.2.2 POZOS ANCHOS SIN ENTIBAMIENTO

A menudo se da el caso de que un pozo se derrumba y el acceso es peligroso. El diámetro de la excavación realizada es demasiado grande para un entibamiento, por lo que la mejor solución es construir una columna con anillos de hormigón armado. Esta columna debería forjarse preferentemente en el terreno, o prefabricarse y luego colocarse en el lugar. Posteriormente se puede insertar la columna de captación.

No es aconsejable hacer un entibamiento descendente (demasiada excavación y demasiado hormigón).

Cuando el terreno es duro, por ejemplo arenisca o caliza, la base del entibamiento puede apoyarse en el fondo de la excavación y no hay necesidad de entibar la sección del pozo que queda por debajo del agua.

La reparación o la construcción de un entibamiento de mampostería se realizan sólo en los casos en los que el diámetro es grande (especialmente para acuíferos pequeños y poco productivos), en los que los moldes para la construcción de los anillos de hormigón armado para el entibamiento serían demasiado engorrosos de manejar y las cantidades de material necesario serían excesivas. El hincado de una columna de mampostería (ladrillos o piedras) es prácticamente imposible, porque al no soportar los esfuerzos creados se produce su rotura.

3.2.2.3 RELLENO DE LA EXCAVACIÓN

El espacio entre la excavación original y la parte exterior del nuevo entibamiento debe rellenarse con arcilla y escombros a lo largo de una altura de 50 cm por debajo del suelo, la parte superior se cubriría con cemento (ver Capítulo XIII) lo que proporcionará un sellado.

Es muy importante cuidar el compactado del relleno capa a capa. El agua achicada de las zonas inundadas o durante la puesta en servicio del pozo se puede utilizar para humedecer los materiales del relleno y favorecer el compactado.

Si esta operación no se realiza de forma adecuada, el relleno de material se compactará de forma natural a lo largo del tiempo (por ejemplo, en la primera temporada de lluvias) y causará asentamientos que fisurarán las obras superficiales, permitiendo entonces la filtración de agua.

3.3 Limpieza y ahondamiento

La limpieza de un pozo se hace necesaria cuando éste se bloquea debido a la caída de objetos o sedimentos, o generalmente por obstrucción progresiva. Se trata de que el pozo disponga de una profundidad de agua suficiente para evitar que se seque y recobre así la capacidad de producción.

La comunidad de usuarios realiza la limpieza del pozo anualmente. Es más sencillo hacerlo durante el período seco. Si el pozo no es muy productivo se puede vaciar con un cubo. Si el rendimiento del pozo es mayor, entonces se pueden utilizar poleas, tracción animal o bombas de achique. Los pozos públicos, desafortunadamente, a menudo no son responsabilidad de nadie, por lo que no suelen limpiarse. Esto no ocurre con los privados, aunque sean estrechos y profundos.

El ahondamiento de un pozo aumenta el caudal en la mayoría de los casos, excepto cuando se ha llegado a la base del acuífero. Se hace necesario cuando el nivel estático ha descendido con el paso del tiempo, o cuando no se pudo llegar a una profundidad adecuada por falta de equipo o de materiales, o no se prestó bastante atención, o no se consideró importante en el momento de la construcción.

El ahondamiento de pozos situados cerca del mar puede causar problemas por el agua salada existente por debajo del acuífero (ese fue el caso en Mogadiscio). No se debe ahondar por debajo de un cierto nivel ya que el agua del acuífero se contaminaría con agua salada (ver Capítulo X).

Dependiendo de la naturaleza del pozo existen diferentes técnicas de excavación:

– para captaciones de mampostería, se puede hincar una columna de anillos prefabricados de menor diámetro que los existentes en el pozo, o el entibamiento de mampostería puede ampliarse a medida que se excava (pozos de poca profundidad);

– para secciones de hormigón armado en la parte de captación del entibamiento, se puede deslizar telescópicamente una columna de captación independiente por el interior del entibamiento anterior;

– para captaciones independientes ya existentes, el ahondamiento es sencillo porque basta con cavar y añadir anillos nuevos para hacer más honda la columna de captación.

Cuadro 12.3
Métodos de desinfección de pozos.

Desinfección que requiere el vaciado del pozo

1) Diluir 200 ml de una solución de cloro activo al 1% en un cubo de 10 litros (solución de 200 mg/l de cloro), p.ej. 3 g de HTH (70% cloro activo) o 50 ml de lejía (4% cloro activo) en 10 l de agua.

2) Vaciar el pozo y cepillar las paredes con la solución de cloro (tener cuidado con los gases de cloro), esperar durante 30 minutos y dejar que se llene otra vez.

Desinfección sin vaciar el pozo

1) Preparar una solución de 200 mg/l de cloro, como antes.

2) Cepillar las paredes del pozo que quedan por encima del agua.

3) Calcular el volumen de agua que contiene el pozo:

$$V = 3{,}14 \cdot r^2 \cdot h$$

donde V es el volumen del agua (m^3), r el radio del pozo (m), y h la altura del agua en el pozo (m).

4) Determinar la cantidad de cloro a añadir en el agua del pozo para obtener una solución de cloro de 100 mg/l: por cada 1 000 l de agua en el pozo, 100 mg/l de Cl = 140 mg HTH o 2,5 l de 4% de lejía.

5) Fabricar la solución en cubos de plástico de 10 litros, con un máximo de 250 g de producto por cubo (límite de solubilidad).

6) Verter el contenido de los cubos en el pozo, agitar y esperar 12 h, nadie debe acercarse al pozo.

7) Sacar agua hasta que haya sólo un ligero olor a cloro.

Notas

– En zonas con escasez de agua se puede tratar el agua del pozo con 50 mg/l de cloro solamente.

– Si el pozo está equipado con una bomba manual, introducir la solución desinfectante en el pozo, bombear hasta que el agua que pasa por la bomba sea la clorada. Esperar 12 horas, bombear hasta que el agua tenga sólo un ligero olor a cloro.

4 DESINFECCIÓN

Se recomienda la desinfección, tanto en los pozos excavados nuevos como en los rehabilitados, y se debe hacer siempre si el pozo está cubierto y equipado con una bomba. Existen diferentes formas de hacerlo usando HTH (Cuadro 12.3). Se deben desinfectar de forma sistemática los pozos que sufren contaminaciones ocasionales significativas o que tienen riesgo de contaminarse.

5 EJEMPLO DE CAMPO. EJECUCIÓN

5.1 Estimaciones cuantitativas

Esta estimación permite calcular el coste unitario de los trabajos, y estimar la cantidad de material necesario para asegurar el suministro a los sitios necesarios. Es frecuente recoger esta estimación en forma de tablas (Tablas 12.III a 12.V).

Tabla 12.III: Estimación cuantitativa para diferentes trabajos.

Cantidades / Actividades	Número de unidades	Coste por unidad	Coste total	Cemento, número de sacos/m	Cemento, número de total	Ferralla /m	Ferralla total	Cantidad de arena /m	Cantidad de arena total	Cantidad de grava /m³	Cantidad de grava Total
Entibamiento del pozo de 140 mm											
Anclajes de superficie y fondo											
Corona cortante de 100 mm											
Captación indep. de 100 mm											
Faldón, brocal, muro											
Trabajo /m											
Otros											
Total											

Tabla 12.IV: Materiales para la construcción de un pozo de 1,4 m de diámetro y una captación independiente de 1 m.

	Cemento		Grava		Arena		Ferralla	
	(m³)	(kg)	(m³)	(kg)	(m³)	(kg)	(m)	(kg)
Metro de entibamiento del pozo 350 kg de cemento/m³	0,126 ó 3,4 sacos	144	0,4	800	0,2	340	50	20
Anclaje 1 superficie + 1 fondo 350 kg cemento /m³	0,25 ó 6,7 sacos	326	0,74	1 488	0,37	632	71	29
Captación por m, 300 kg cemento /m³	0,104 ó 2,8 sacos	138	0,276	552	0,138	235	34	14
Corona cortante 400 kg cemento/m³	0,03 ó 0,8 sacos	42	0,084	168	0,042	71	31	12
Trabajos en superficie (faldón, brocal, drenaje)	0,62 ó 17 sacos	830	1,9	3 792	0,95	1 615	324	130
100 l abrevadero	0,028 ó 0,7 sacos	37	0,08	167	0,042	72	18	7

Tabla 12.V: Materiales para la construcción de un pozo de 1,8 m de diámetro con una captación independiente de 1,4 m de diámetro.

	Cemento		Grava		Arena		Ferralla	
	(m³)	(kg)	(m³)	(kg)	(m³)	(kg)	(m)	(kg)
Entibamiento del pozo, por m, 350 kg cemento/m³	0,16 ó 4,3 sacos	209	0,48	955	0,24	406	64	26
Anclaje 1 superficie + 1 fondo 350 kg cemento/m³	0,33 ó 9,1 sacos	444	1,02	2 032	0,51	867	99	40
Captación, por m, 300 kg cemento/m³	0,14 ó 3,8 sacos	189	0,38	754	0,19	320	46	18
Corona cortante 400 kg cemento/m³	0,04 ó 1,1 sacos	53	0,107	213	0,053	91	41	16
Trabajos en superficie (faldón, brocal, drenaje)	0,62 ó 17 sacos	830	1,9	3 792	0,95	1 615	320	128

5.2 Tiempo necesario para la construcción de un pozo

El tiempo necesario para la construcción de un pozo depende de la naturaleza del terreno (estabilidad y dureza), la participación de la comunidad y la profundidad del pozo. En la tabla 12.VI se incluye un ejemplo.

Tabla 12.VI: Tiempo necesario para la construcción de un pozo de 1,4 m de diámetro, 15 m de profundidad total, con captación independiente, construido con un equipo de excavadores entrenados.

Actividades a llevar a cabo	Tiempo aproximado por actividad
Preparación de la zona e instalaciones	2 días
Excavación (diámetro 1,6 m)	
• terreno estable y blando	1 m/día
• terreno estable y semiduro	0,8 m/día
Entibamiento del pozo (diámetro 1,4 m)	
• descendente	1 m/día
• ascendente	2 m/día (2 moldes superpuestos)
Captación (diámetro 1 m)	
• anillos prefabricados en superficie	2 anillos/día/molde durante la excavación
• columna construida en el fondo del pozo	2 m/día
Excavación del pozo / hincado de la captación	
• terreno blando	1 m/día
• terreno semi-duro	0,6 m/día
Puesta en servicio y pruebas de bombeo	1 a 2 días
Trabajos en superficie	4 – 5 días
Resumen	
• Preparación de la zona	1 día
• Excavación 12 m	12 días
• Entibamiento de pozo, 12 m	6 días
• Captación construida in situ, 4 m	2 días
• Hincado de la captación, 3 m	3 días
• Desarrollo, pruebas de bombeo	2 días
• Trabajos en superficie	4 días
• Recogida y limpieza	1 día
TOTAL	**31 días**

5.3 Planificación para la construcción de diez pozos

El proyecto implicaba la construcción de 10 pozos de 1,4 m de diámetro, y 10 m de profundidad media. Se formaron dos equipos de excavación de pozos y se pidió la participación de la comunidad, lo que es un factor fundamental para el éxito del proyecto (Tabla 12.VII).

Tabla 12.VII: Planificación para la construcción de 10 pozos de 1,4 m de diámetro y 10 m de profundidad media.

Mes	Actividades
1	Compra de equipo (bomba de achique, trípodes, moldes, etc.) • Reclutamiento de trabajadores • Contactar con los socios locales • Visita y elección de los primeros lugares de trabajo • Reuniones y organización del proyecto con las comunidades. • Formación de los equipos de excavación
2	Construcción del pozo 1 con dos equipos bajo supervisión • Planificación de reuniones con la población
3	Construcción del pozo 2 con dos equipos, lo que completa la formación • Inspecciones y elección de 8 nuevos lugares de construcción • Discutir con la población la organización del trabajo
4	Construcción de los pozos 3 y 4, dos equipos por separado • Continuación del programa de movilización de la población (hasta el final del programa)
5	Construcción de los pozos 5 y 6, dos equipos • Comienzo de la preparación de los lugares de construcción 7 y 8
6	Fin de la construcción de los pozos 7 y 8 • Comienzo de los pozos 9 y 10 • Evaluación del programa • Posibles propuestas para nuevas acciones

6 EJEMPLO DE CAMPO. RECURSOS NECESARIOS

6.1 Recursos Humanos

Es necesario planificar la preparación de uno o dos equipos de excavación de pozos dependiendo del tiempo que se dedique al proyecto. Como ejemplo, 10 pozos de 15 m de profundidad media pueden ser ejecutados por un equipo de excavación de pozos entre 6 y 8 meses, para trabajos de mayor extensión es preferible trabajar con más equipos. Para ganar eficacia, es aconsejable disponer de un equipo especializado en trabajos por debajo del nivel de agua y de otro en excavación y entibamiento.

Cada equipo dispone de un jefe, que está bajo la dirección de un responsable del proyecto o de un supervisor (Tabla 12.VIII). Las comunidades deben implicarse en el trabajo, por ejemplo, prestando trabajadores para los siguientes trabajos:

– construcción de los accesos a los lugares de trabajo;
– recolección y tamizado de áridos;
– abastecimiento de agua en el lugar del trabajo;
– excavación y extracción del material excavado, bajo la atenta supervisión del equipo de trabajo;
– mezclado de cemento, y cualquier otra actividad que no requiera entrenamiento especial.

6.2 Materiales

Los costes que se muestran en las Tablas 12.IX y 12.X corresponden a costes medios de proyectos de construcción de pozos en África realizados por ACF.

Tabla 12.VIII: Personal requerido para el programa de construcción de un pozo.

Personal	Actividades
Gestión	
1 director	Asistencia técnica, planificación, gestión de los equipos, relaciones con los socios locales
1 oficial de logística	Abastecimiento en los lugares de trabajo, localización de material y vehículos
Equipos de excavación y entibamiento (hasta el nivel del agua)	
1 excavador de pozos	Capataz local
1 albañil	Colocación de encofrado y hormigón armado
4 peones	Excavación del pozo, mezcla de cemento, operaciones con el torno
Equipo de la sección de captación	
1 excavador de pozos o albañil	Capataz local
4 peones	Excavación, hincado de la columna de captación, mezcla de cemento, operaciones con el torno

Tabla 12.IX: Ejemplo de costes para la construcción de un pozo nuevo

Diámetro (cm.)	Profundidad (m)	Cemento (kg) (USD 250 /T)	Áridos (m^3) (USD 10 /m^3)	Alambrón de 8 mm, (m) (USD 0,7 /m)	Coste (US $)
140	5	2 610	8,7	850	1 335
	10	3 330	11,7	1 100	1 720
	15	4 050	14,7	1 350	2 105
	20	4 770	17,7	1 600	2 490
	25	5 490	20,7	1 850	2 875
180	5	3 310	11,1	1 010	1 645
	10	4 360	15,0	1 330	2 170
	15	5 410	18,6	1 650	2 690
	20	6 450	22,5	1 970	3 220
	25	7 500	26,1	2 290	3 740

Tabla 12.X: Ejemplo de coste para la rehabilitación de un pozo incluyendo una columna de captación de 5 m y los trabajos en superficie.

Diámetro (cm.)	Materiales	Cantidades necesarias	Coste (US $)
140	cemento	1 890 kg	
	áridos	6 m^3	690 m
	alambrón de 8 mm	600 m	
180	cemento	2 270 kg	
	áridos	7,5 m^3	1 125
	alambrón de 8 mm	690 m	

6.3 Equipo

En la Tabla 12.XI se muestra un listado indicativo de herramientas y equipos necesarios para dos equipos de excavación de pozos que trabajan de forma simultánea.

Tabla 12. XI: Coste medio de herramientas y equipos para dos equipos de excavación.

	Cantidades	Precio (US$)
Equipo pesado		
Equipo de achique[1]		
• Bomba de achique neumática y compresor	1	10 000
• o bomba de achique eléctrica y generador	1	5 000
• Sensor del nivel de agua (dipper)	1	700
Equipo de encofrado		
• Encofrado deslizante	2	1 600
• Molde para los anillos de la captación[2]	2	3 000
• Encofrado para el brocal	1	600
• Encofrado para la corona cortante	1	800
Trípode y torno manual (cable de 8/10 mm, 1,5 t)[3]	2	4 000
Grúa y pala excavadora (para pozos profundos y trabajos especiales)	1	14 000
Equipos y herramientas ligeras (picos, palas, paletas, cinceles, cubos, carretillas)	0	
• Maza de 3 kg, martillo, sierra	5	
• Cizalla para barras de acero	2	
• Juego de llaves inglesas para ensamblar los moldes	1	
• Cepillo para alambres	5	
• Cuerda de seguridad (25 mm)	2	
• Tamices: 5, 10 y 20 mm	2	
• Bidones metálicos (200 l)	4	
• Plomada, nivel de burbuja resistente, cinta métrica doble, regla de construcción	5	
• Cascos	10	
• Guantes	20	
• Arneses de seguridad	4	
• Equipo de primeros auxilios	2	
Total		**39 700**

1. Las bombas de achique neumáticas tienen numerosas ventajas: la simplicidad, robustez, capacidad para sacar agua con barro, facilidad de uso (ligeras y poco volumen), posibilidad de usar un martillo neumático con rodillos vibradores, etc. con el mismo compresor.

2. Un equipo completo de encofrado incluye los moldes internos y externos para los anillos, una cubierta para la parte superior y dos para la parte inferior (es posible fabricar dos anillos por día).

3. Trípode piramidal compuesto por tubos de 60 ó 80 mm de diámetro, al que se ata una polea (altura libre de 2 m). Se coloca un torno en la base del marco para la elevación del material excavado. También se puede fijar sobre el brocal.

Aguas subterráneas. Pozos perforados

1 Perforación para la obtención de agua 318
1.1 ¿Pozos perforados o excavados? 318
1.2 Prospección y explotación 318
1.3 Ejemplos de costes de los pozos perforados 319
2 Técnicas de perforación 319
2.1 Perforación por rotación 319
2.2 Perforación por roto-percusión 320
2.3 Parámetros del pozo perforado 321
2.3.2 Fluidos de perforación 323
2.3.3 Lodo de perforación en rotación 323
2.3.4 El aire en la roto-perforación DTH 324
2.3.5 Recomendaciones para la perforación 325
3 Equipos ligeros de perforación 326
3.1 Equipo ACF-PAT 201 326
3.2 Equipo ACF-PAT 301 327
3.2.1 Características técnicas 329
3.2.2 Principio de funcionamiento 330
3.3 Equipo ACF-PAT 401 PTO 332
3.4 Otros equipos ligeros de perforación 332
4 Diseño del sondeo 333
4.1 Elección de camisa 333
4.2 Pre-camisado 335
4.3 Configuraciones más frecuentes 335
5 Perforaciones 337
5.1 Elección de la técnica 337
5.2 Preparación del emplazamiento 337
5.2.1 Instalación 337
5.2.2 Fosas de lodo 339
5.2.3 Preparación del lodo de perforación 340
5.2.4 Eliminación de los cortes de terreno en la técnica DTH 341
5.3 Perforación por rotación 341
5.3.1 Comienzo 341
5.3.2 Avance añadiendo tubos de perforación 341
5.3.3 Eliminación de un tubo de perforación 343
5.3.4 Problemas usuales 343
5.3.5 Análisis de los cortes de terreno y señales de agua 344
5.4 Perforación por percusión DTH 344
5.4.1 Ajuste y Lubricación del martillo DTH 344
5.4.2 Instalación del martillo 345
5.4.3 Proceso de perforación 346
5.4.3.1 Comienzo de la perforación 346
5.4.3.2 Avance 346
5.4.3.3 Adición y eliminación de tuberías de perforación 346
5.4.4 Dificultades y soluciones posibles 347
5.4.5 Análisis de los cortes de terreno, indicios de agua y cálculo del caudal 348
6 Equipamiento del pozo perforado 348
6.1 Entubación permanente 348
6.1.1 Elección de camisa y filtro 348
6.1.2 Colocación de la camisa 349
6.2 Paquete de grava y cementación 351
6.2.1 Paquete de grava 351
6.2.2 Cementación 352
6.2.2.1 Preparación de la cementación 352
6.2.2.2 Colocación de la lechada 352
7 Puesta a punto 352
7.1 Limpieza del pozo 352
7.2 Procesos de puesta a punto 353
7.2.1 Puesta a punto por soplado de aire 353
7.2.2 Otras técnicas de puesta a punto 354
7.2.3 Bombeo 356
7.3 Caudal instantáneo 356
8 Seguimiento e informe del pozo 356
9 Trabajos en superficie 357
10 Ejemplo de campo. Planificación de un programa de perforación 357
11 Ejemplo de campo. Recursos a emplear 358
11.1 Recursos humanos 358
11.2 Costes de la perforación 359
12 Ejemplo de campo. Repaso de algunos programas concretos 361
12.1 Área sedimentaria no-consolidada 361
12.2 Zona de roca base 363

Este capítulo presenta una guía práctica de técnicas de perforación y de realización de campañas de perforación en lugares con potencial hidrogeológico, que son accesibles con maquinaria ligera de perforación. El funcionamiento de este tipo de maquinaria es muy versátil y adecuado para contextos difíciles de operaciones humanitarias. ACF ha desarrollado tres máquinas en colaboración con un fabricante tailandés (PAT, ver Anexo 11):

– ACF-PAT 201 es una máquina ligera y bastante barata, pero limitada a formaciones sedimentarias no consolidadas;

– ACF-PAT 301 usada para perforaciones en formaciones consolidadas y no consolidadas;

– ACF-PAT 401 es una máquina más potente que la ACF-PAT 301 con un sistema de manejo más sencillo.

Durante los últimos años, la empresa PAT ha continuado mejorando estos modelos por cuenta propia.

1 PERFORACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA

1.1 ¿Pozos perforados o excavados?

En algunos países, las regulaciones nacionales imponen que los pozos sean perforados en lugar de excavados, con lo que se pretende preservar la calidad del agua subterránea. En cualquier caso, los pozos perforados se recomiendan especialmente en los siguientes casos:

– contaminación de acuíferos poco profundos (baja calidad bacteriológica o fisicoquímica del agua);

– la excavación de pozos es muy costosa (campamentos temporales) o de larga duración (situaciones de emergencia) y no responde a las necesidades de la población (campos de personas desplazadas);

– el contexto geológico no permite la excavación de pozos, debido a la dureza o la profundidad de las formaciones;

– imposibilidad de mantener una estación de tratamiento de agua de emergencia (la comunidad no acepta hacerse cargo);

– los pozos perforados permiten una respuesta rápida a necesidades urgentes.

Sin embargo, antes de comenzar el programa de perforación han de tenerse en cuenta ciertos factores técnicos, financieros y logísticos con el fin de asegurar su viabilidad y pertinencia:

– se debe realizar un estudio preliminar del potencial hidrogeológico para determinar el tipo de equipo de perforación requerido, los caudales previsibles y las posibilidades de éxito, que si son bajas, hay que tenerlas en cuenta en la elaboración del plan de acción;

– la explotación de un sondeo implica la instalación de una bomba (manual o eléctrica sumergible, eólica), dependiendo del potencial hidrogeológico y el caudal requerido, hay que asegurarse que las comunidades aceptarán el sistema y tendrán la capacidad técnica, logística y económica para operar, reparar y mantener la bomba.

– la posibilidad de encontrar un equipo local de perforación en condiciones o la necesidad de importarlo (transporte aéreo, marítimo o terrestre);

– personal técnico local (perforador, mecánico, geólogo). Es posible la formación de un encargado de perforación pero puede llevar algún tiempo al comienzo del programa. Normalmente la utilización de una ACF-PAT 201 (ver Sección 3) no presenta problemas;

– tiempo necesario para la importación del material (pedido, construcción, transporte, trámites aduaneros,…) y el arranque de la perforación (1-2 meses mínimo);

– medios locales de transporte del equipo e instalaciones de perforación de un lugar a otro.

Una vez tomada la decisión de perforar, hay que decidir el tipo de bombas a instalar en función del potencial hidrogeológico, caudal de explotación deseado y las capacidades locales de mantenimiento. A partir de entonces, puede empezar la campaña de sensibilización.

1.2 Prospección y explotación

En un contexto hidrogeológico difícil (por ejemplo, un acuífero aluvial pequeño o inexistente, o en presencia de varios acuíferos en diferentes capas con niveles de agua salina), es aconsejable la perforación de pozos de prospección. Con ellos se pueden obtener indicaciones sobre la presencia y calidad del agua subterránea y la naturaleza del acuífero, además de permitir el ajuste en los datos obtenidos durante la exploración geofísica. Generalmente estos pozos son estrechos, con una camisa de diámetro pequeño (43 a 100 mm). Después de la prospección, estos pozos se mantienen como piezómetros o se rellenan y se abandonan. La presencia de agua se puede verificar con ensayos sencillos de bombeo.

Los pozos llamados de explotación permiten alcanzar y explotar un acuífero subterráneo, incluso si está situado a gran profundidad (más de cien metros). En los programas de ACF, la mayor parte de los pozos perforados están equipados con bombas manuales, mecánicas o motorizadas que permiten abastecer de agua a poblaciones rurales y/o desplazadas a veces aisladas y con escasos recursos.

1.3 Ejemplos de costes de los pozos perforados

Desde 1991, ACF ha perforado más de 4 000 pozos equipados con bombas manuales en Asia (Camboya, Birmania) y África (Liberia, Sierra Leona, Costa de Marfil, Guinea, Sudán, Uganda, Mozambique, Angola, Etiopía, Honduras, Guatemala, Chad), usando las ACF-PAT 201, 301, 301T y 401.

En Camboya, el coste de un pozo de 30 m equipado con una bomba manual (bomba de aspiración tipo VN6) es de 300 dólares (sólo equipo).

En Guinea, el coste de un pozo de 40 m equipado, utilizando una bomba manual Kardia (2 500 dólares), es de hasta 4 000 dólares (equipo).

Para un programa de 30 pozos perforados de 40 m de profundidad con un éxito del 80%, teniendo en cuenta la depreciación de un equipo de perforación ACF-PAT 301, el coste correspondiente es de 7 000 dólares por pozo perforado.

Como comparación, la contratación de la perforación de un pozo perforado, sin bomba, puede llegar a costar:

– en Haití, 35 m de profundidad, 8” de diámetro: 8 500 dólares;

– en Malí, 120 m de profundidad, 6” de diámetro: 12 000 dólares;

– en Angola, un programa de al menos 10 pozos perforados de profundidad 60 m: 8 000 dólares con un equipo de perforación por percusión, y 13 000 dólares con un equipo de perforación por rotación;

– en el Sur de Sudán / Uganda, para una profundidad de 50 m y 6” de diámetro: 12 000-15 000 dólares.

2 TÉCNICAS DE PERFORACIÓN

Existen diferentes técnicas de perforación dependiendo de los requisitos del pozo perforado y del contexto geológico.

La perforación por percusión es la técnica más antigua. Conceptualmente es muy simple, y es especialmente útil para formaciones sedimentarias de material grueso (gravas, cantos rodados), que son excelentes reservas. En este libro no se detalla esta técnica con exactitud. El material que se obtiene se eleva hasta la superficie de forma mecánica, usando una cuchara cilíndrica o una draga (máquinas tipo Beneto).

Las técnicas de roto-percusión (DTH-*“down-the-hole”*) son las más utilizadas y las más útiles. Existen ciertos equipos de perforación que son bastante grandes y que pueden perforar cientos de metros.

En cuanto a los equipos ligeros usados por ACF, el modelo ACF-PAT 201 únicamente es de rotación mientras que los modelos ACF-PAT 301 y 401 son del tipo DTH (combinación de rotación y percusión).

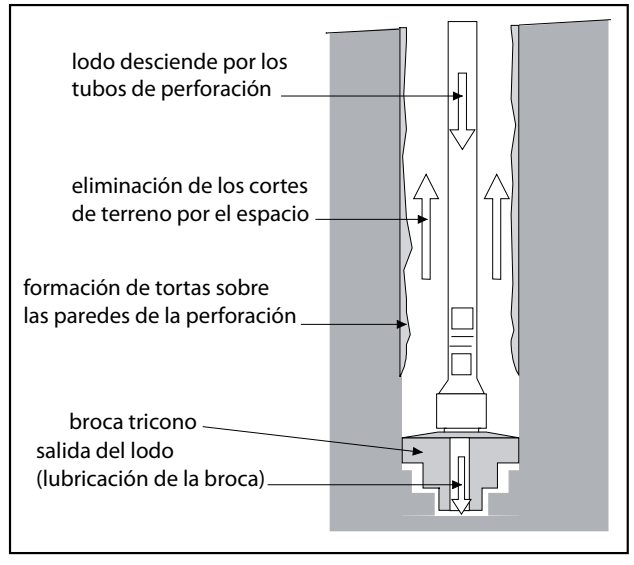


Figura 13.1: Principio de funcionamiento en la perforación por rotación.

2.1 Perforación por rotación

La técnica por rotación (Figura 13.1) se usa únicamente en formaciones sedimentarias sin consolidar con una maquinaria ligera (la maquinaria de alta potencia como la usada para las perforaciones petroleras se puede utilizar en formaciones más duras).

La broca rotatoria de perforación, llamado tricono, se acciona desde la superficie con tubos de perforación. La broca trabaja por abrasión del terreno, sin percusión, únicamente por medio de la rotación y la presión. Todo esto se realiza por la energía de la máquina, pero sobre todo, por el peso de los tubos que hay encima de la broca: cuando se perforan grandes pozos, se regula el peso de estos tubos.

En el fondo del agujero, la broca realiza cortes en el suelo (*cuttings*). La circulación de un líquido, denominado lodo de perforación, hace que el material cortado llegue a la superficie. El lodo de perforación se inyecta por el centro de los tubos de perforación (o cadena de perforación) hasta la broca y retorna a la superficie a través del espacio anular entre la cadena de perforación y la camisa o la pared del pozo perforado. Mientras asciende, el lodo de perforación cubre las paredes del pozo y las estabiliza (taponando). El lodo de perforación está constituido por agua con una arcilla (bentonita) o un polímero, normalmente policol. Su circulación se hace por circuito cerrado: cuando llega a la superficie se canaliza hasta unas fosas de sedimentación donde se recogen los cortes del terreno y se vuelve a bombear e inyectar a presión por la cadena de perforación.

2.2 Perforación por roto-percusión

Esta técnica permite la perforación en formaciones duras.

Un cabezal cortante (broca) hecho de carburo de tungsteno, fijado directamente al martillo neumático (DTH) gira a la vez que golpea, con el objeto de romper y moler la roca. El martillo trabaja utilizando el aire comprimido que proporciona un compresor. La corriente de aire arrastra los cortes de terreno hasta la superficie. Hay dos fases, percusión y soplado (Figura 13.2).

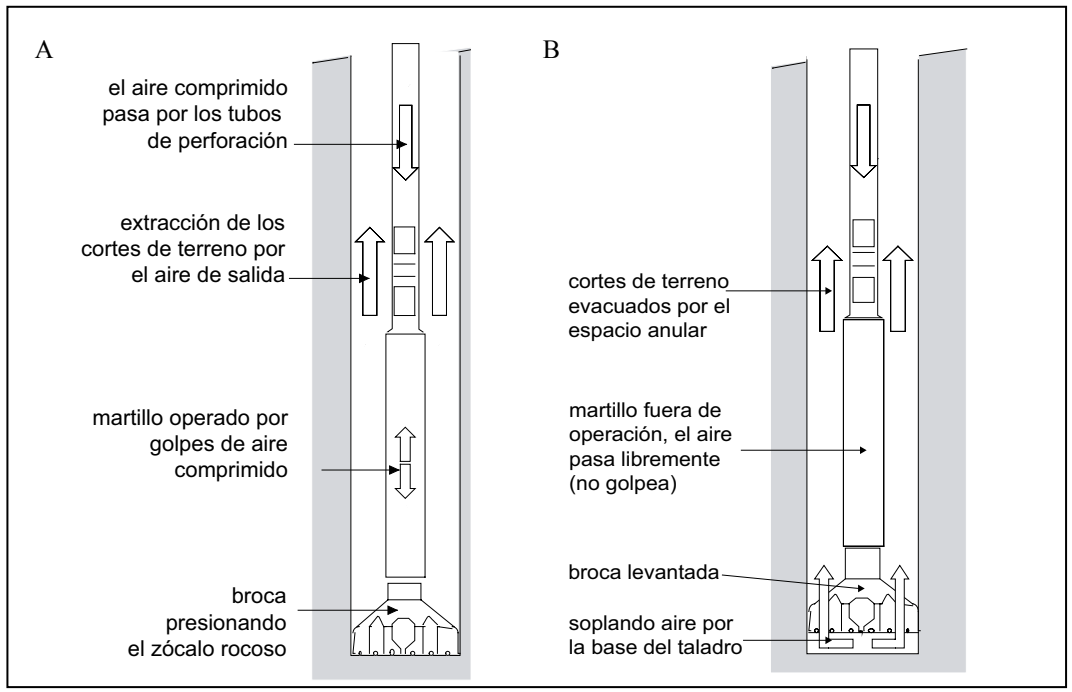


Figura 13.2: Principio de funcionamiento de la perforación DTH (roto-percusión).
A: Percusión: el aire comprimido hace funcionar el pistón del martillo, que golpea la broca sobre la roca, parte de este aire se dirige al espacio entre la broca y la pared de la perforación (espacio anular) arrastrando los cortes del terreno.
B: Soplado, o eliminación de los cortes: la broca se levanta ligeramente, de esta forma todo el aire pasa a través del martillo sin hacerlo funcionar, y se dirige al espacio entre broca y pared.

2.3 Parámetros del pozo perforado

Los parámetros que controlan el avance de la perforación dependen de la técnica utilizada (tanto en rotación como en DTH): rotación y presión de la broca (Cuadro 13.1), y aumento de la velocidad de elevación y de la presión del lodo o del aire (Cuadro 13.2). Estos factores influyen de forma variable en las técnicas de rotación o DTH; es necesario controlarlas con el fin de conseguir unas buenas condiciones de trabajo: progreso adecuado, eliminación constante de los cortes del terreno, y estabilización de las paredes del pozo (Figura 13.3).

Cuadro 13.1
Cálculo de la presión y la velocidad de rotación*.

Carga de la broca
En la rotación, la presión mínima teórica del tricono es de 450 kg por pulgada de diámetro y 225 kg para cabezales de tres hojas, p.e. un mínimo de 1 350 kg de fuerza para una broca de tres hojas de 6”, y 2 700 kg para un tricono del mismo tamaño.

Para un martillo DTH, la presión utilizada es de 100 a 200 kg por pulgada del diámetro de la broca, p.e. entre 600 y 1 200 kg para una broca de 6”.

Velocidad de rotación
La velocidad se calcula en un punto de la periferia de la broca (velocidad tangencial), esto es, el tiempo que se necesita para que ese punto recorra una distancia dada.

Con la siguiente fórmula se calcula el número de revoluciones por minuto:

$$\text{revoluciones por minuto (rpm)} = \frac{\text{velocidad tangencial (m/min)}}{\pi \cdot \text{d (m)}}$$

donde $\pi = 3.14$ y d es el diámetro de la broca (m).

En la rotación, la velocidad mínima tangencial ha de ser 60 m/min, y para el martillo DTH ha de ser 10 m/min, para una broca de 150 mm.

– en rotación, 127 rpm;

– para martillo DTH, 21 rpm.

Par torsor
Para la perforación por rotación o por martillo DTH, el par mínimo aconsejable es 2 000 N-m por pulgada de diámetro de la broca utilizada.

Se aplica un factor de seguridad de 1.33, esto es, para una broca de 6”, un par de 16 kN-m.

* Raymond Rowles, ‘Drilling for Water, a Practical Manual’, Avebury/Cranfield University, 1995.

En la perforación por rotación, y para una velocidad de rotación dada, el parámetro esencial de avance en la perforación es el peso que actúa sobre la broca. La velocidad de rotación se mantiene tan regular como sea posible, dependiendo del diámetro de la broca y de la naturaleza de la formación. En general, la velocidad de rotación será menor para las formaciones más duras.

Por otra parte, en la perforación con martillo DTH el factor determinante no es el peso sino la percusión de la broca sobre la roca, que viene originada por la presión del aire comprimido sobre el martillo. De todos modos, un peso insuficiente sobre la broca puede originar un golpeo ciego, que puede dañar de forma seria el martillo y la broca. Un peso excesivo, por otro lado, puede dañar la broca. En la práctica, y con experiencia, la presión de la broca se controla por el oído – un sonido claro cuando golpea significa que el martillo está funcionando correctamente – se intenta obtener una velocidad de rotación regular y evitar una vibración excesiva.

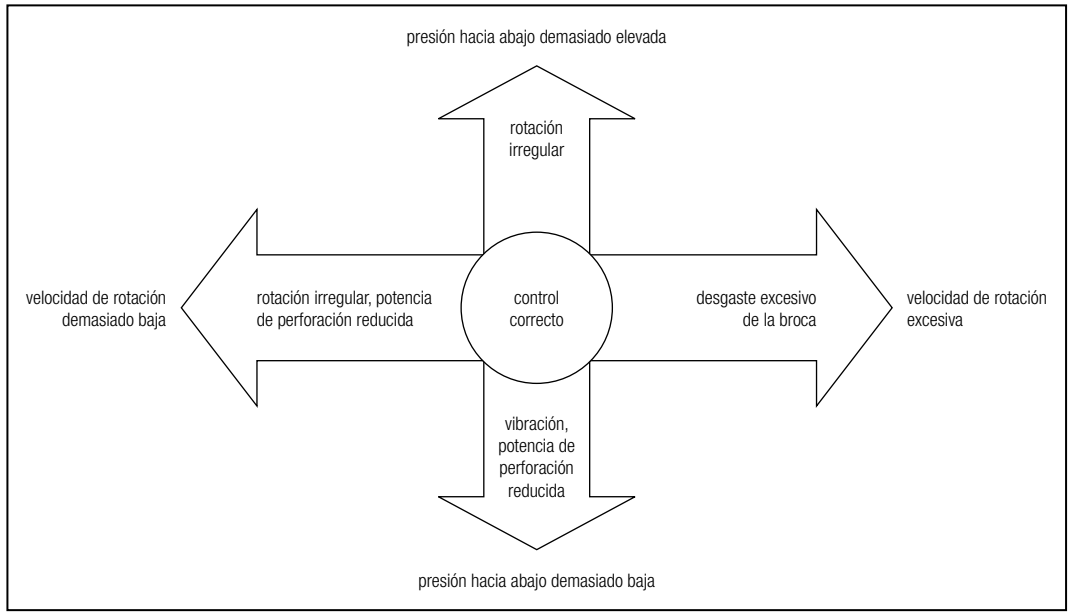


Figura 13.3: Control de la fuerza descendente (presión) y de la rotación.

2.3.1 ROTACIÓN, PRESIÓN Y FUERZA DE ELEVACIÓN

La rotación se transmite de forma mecánica (motor, caja de velocidades, embrague o transmisión en las máquinas más grandes) a la cadena de perforación por el cabezal de la maquinaria de impulsión. Se calcula simplemente contando el número de revoluciones por minuto.

El par torsor de la máquina se expresa en Newton-metro y juega un papel fundamental en el mecanismo de rotación cuando trabaja en formaciones sedimentarias duras y a grandes profundidades. Juega un papel secundario en mecanismos ligeros, ya que la técnica de rotación tiene una aplicación limitada en formaciones duras. Los valores que se dan se encuentran dentro de los rangos recomendados.

La presión depende de la potencia de la maquinaria y del peso de la cadena de perforación por encima de la broca. En consecuencia, a mayor profundidad de pozo, mayor será el peso sobre la broca inducido por el peso de los tubos por encima de ella. Cuando comienza la perforación, la presión sobre la broca es pequeña generalmente, en especial en mecanismos ligeros. Por otra parte, a grandes profundidades, la cadena de perforación debe tener una retención con el fin de no transmitir demasiada presión a la broca (Figura 13.4). La presión a aplicar sobre una broca tricono (rotación) es mucho mayor que la que se debe aplicar sobre un martillo DTH, donde la velocidad de rotación es menor (Cuadro 13.1).

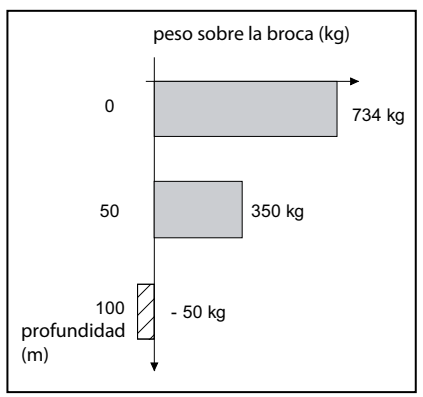


Figura 13.4: Fuerza descendente (presión) aplicada en función de la profundidad y del peso de la cadena de perforación.

La fuerza de elevación la proporciona el motor de la máquina. El fabricante es quien proporciona su valor, generalmente en toneladas. Obviamente, esta fuerza eleva el tren de perforación y también se puede utilizar para extraer la broca si las paredes del pozo se colapsan.

La broca tiene un diámetro de 150 mm y la fuerza descendente en el martillo es de 800 kg. El peso normal de los tubos de perforación es de 7 – 8 kg/m. La fuerza descendente del mecanismo de perforación (además del tren de perforación) debe incrementarse al comienzo de la perforación; después de alcanzar cierta profundidad, se puede necesitar la retención de la cadena de perforación ya que su peso aumenta.

2.3.2 FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Los fluidos utilizados en perforación son aire lubricado (con o sin espuma) para martillos DTH, o agua con lodo de perforación para perforaciones de rotación. Estos fluidos tienen diferentes funciones tal y como se resume en la Tabla 13.I.

Tabla 13.I: Fluidos en perforación.

Técnica	Tipo	Función del fluido
Rotación	Lodo de perforación: – agua – bentonita – policol	– eliminación de cortes de terreno – estabilización de paredes (relleno) – lubricación, enfriamiento de la cadena de perforación y de la broca
DTH	aire comprimido lubricado aire comprimido lubricado + espuma (agente espumante)	– funcionamiento del martillo – mejora en eliminación de cortes del terreno – lubricación del hueco

La perforación con martillo DTH se realiza normalmente sin espuma pero se debe evitar esta práctica. La espuma mejora realmente la eficacia de la perforación (eliminación de los cortes) y disminuye el riesgo de que el martillo se atasque.

La perforación por rotación puede llevarse a cabo utilizando únicamente aire sin lodo de perforación. Esta técnica permite una perforación más rápida y se puede llegar a gran profundidad en formaciones secas y estables. Trabajando sin agua es posible evitar la entubación, generalmente necesaria cuando se trabaja con agua. Si alcanzamos el nivel freático, la perforación se hace más difícil y aumenta el riesgo de colapso de las paredes; entonces se debe utilizar el lodo de perforación.

Esta técnica se aplica en los primeros metros del pozo (10-20 m), ya que evita la necesidad de lodo de perforación si posteriormente la perforación se realiza con un martillo DTH (lecho rocoso cerca de la superficie). Sin embargo, si las capas superficiales no se estabilizan, el riesgo de colapso de las paredes aumenta (erosión por la corriente de aire). Además, los cortes de terreno húmedo tienden a aglomerarse, volviéndose muy pesados para alcanzar la superficie y se mantienen en suspensión en el pozo hasta llegar a formar un tapón en el espacio anular entre la broca y la pared.

2.3.3 LODO DE PERFORACIÓN EN ROTACIÓN

El lodo de perforación es fundamental en el proceso de perforación, transporta los cortes de terreno a la superficie fácilmente, estabiliza las paredes del pozo y lubrica la broca. Las características intrínsecas del lodo (densidad y viscosidad) se comprueban regularmente y se modifican durante el proceso, aligerando o espesando según sea necesario:

– la densidad influye en el transporte de los cortes del terreno a la superficie y en la estabilización de las paredes. El lodo pesado tiene mejores propiedades de transporte y los cortes de terreno flotan mejor;

– una temperatura baja enfría la broca;

– la viscosidad influye en la lubricación de la broca y en el transporte de los cortes (efecto de empuje).

Nota: El policol es un polímero que proporciona un movimiento en espiral cuando circula por la perforación, lo que mejora el transporte ascendente de los cortes del terreno.

Los parámetros hidrodinámicos (caudal y presión) también tienen su influencia:

– El caudal de la bomba influye en la velocidad de circulación del lodo de perforación (velocidad de ascenso) e influye directamente en la eliminación de los cortes de terreno (Cuadro 13.2). Para que los cortes de terreno pasen por el espacio anular, es necesario mantener una velocidad mínima

adecuada a la densidad del fluido. Para un caudal constante, la velocidad del fluido (m/s) disminuye a medida que aumenta el espacio anular;

– La presión del lodo de perforación equilibra las pérdidas de carga en la cadena de perforación, ya que el circuito está equilibrado (circuito abierto a presión atmosférica en la superficie). En teoría, para asegurar el retorno del lodo de perforación no es necesario presión. Sin embargo, la presión es muy útil si hay un bloqueo en el espacio anular.

2.3.4 EL AIRE EN LA ROTO-PERFORACIÓN DTH

El aire tiene dos funciones: hacer funcionar el martillo y transportar los cortes de terreno a la superficie. Para que esto sea así, se deben comprobar algunos parámetros esenciales.

Se debe determinar la mínima cantidad de aire para hacer funcionar el martillo (varios litros por segundo) y también para obtener un caudal suficiente de aire como para arrastrar cortes de terreno de tamaño medio (varios milímetros - Figura 13.5 y Tabla 13.II).

Tabla 13.II: Velocidad del aire necesaria en la perforación DTH, sin añadir espuma, para el arrastre de partículas esféricas de densidad específica 2.8 hacia la superficie.

Diámetro de partículas (mm)	Velocidad del aire (m/s)
0,1	1
0,5	5
1	8
5	18
10	24

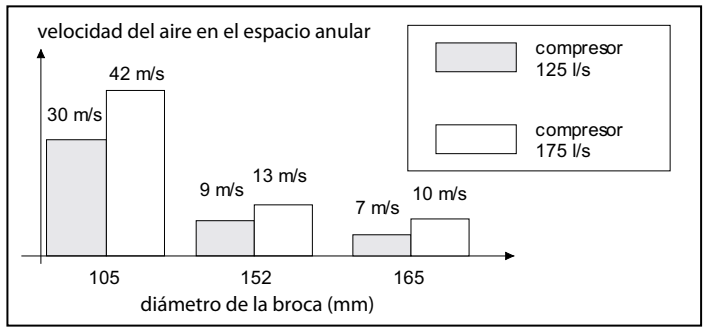


Figura 13.5: Velocidad del aire en función del caudal del compresor y del diámetro de broca.

La adición de espuma crea una emulsión que incrementa la capacidad de transporte y además es capaz de arrastrar cortes de terreno de diámetro 1 cm con velocidades de 10 a 15 m/s. Lubricando las paredes, el uso de espuma disminuye el riesgo de que el martillo quede atascado. Debe utilizarse de forma sistemática en pozos de gran profundidad.

La presión del aire inyectado tiene un efecto directo en la capacidad del martillo para romper la roca, y por tanto, en la velocidad de avance de la broca (Tabla 13.III). La lubricación del aire debe ser permanente, ya que lubrica el revestimiento del pistón del martillo.

Tabla 13.III: Velocidad de avance en una formación de gneis al norte de Uganda con un equipo de perforación ACF-PAT 301 equipado con una broca de 150 mm y un compresor de 8 ó 12 bares.

Compresor	8 bars – 175l/s			12 bars – 125 l/s		
Número de pozo	10 825	10 823	10 829	10 828	10 832	10 836
Tiempo medio por 2 m de tubo de perforación (min)	44	52	69	23	18	36

Cuadro 13.2
Cálculo de la velocidad ascendente del fluido.

Para calcular la velocidad de un fluido en un espacio anular, el caudal bombeado se divide por el área transversal, p.ej. para un caudal de 19 l/s, una perforación de 150 mm, y tuberías de perforación de 76 mm:

$$\frac{Q}{\pi d^2/4 - \pi D^2/4} = V$$

$$\frac{0{,}019}{3{,}14 \times (0{,}15)^2/4 - 3{,}14 \times (0{,}076)^2/4} = 1{,}4 \text{ m/s}$$

donde d es el diámetro exterior de los tubos de perforación (m), D el diámetro del pozo perforado (m), Q el caudal (m^3/s) y V la velocidad (m/s).
Raymond Bowles (1995) proporciona una velocidad mínima anular necesaria para diferentes fluidos: 0,6 m/s para agua, 0,35 m/s para lodo de perforación (agua + bentonita) y 15 m/s para aire puro (sin espuma).
También proporciona velocidades máximas permitidas: 1,5 m/s para agua y 25 m/s para aire. Por encima de ellas, se puede provocar la erosión de las paredes, lo que podría echar a perder la perforación.

2.3.5 RECOMENDACIONES PARA LA PERFORACIÓN

Los parámetros que se muestran son únicamente orientativos (Tabla 13.IV) y corresponden a recomendaciones para equipos de perforación estándar; son, por tanto, mucho mayores que los que habría que aplicar a equipos más ligeros.

Las características de los equipos ACF-PAT no cumplen las especificaciones recogidas en la Tabla 13.IV (presión, par torsor) para una técnica de rotación, lo que significa únicamente que estos equipos tienen limitaciones en su aplicación y que es necesario adaptar la técnica a la formación encontrada. La técnica de rotación con un equipo ligero no se puede utilizar en formaciones de gran dureza, donde se requerirá un martillo DTH.

Tabla 13.IV: Parámetros de perforación (recomendaciones).

	Rotación	DTH
Presión sobre la broca	por pulgada de broca	
– broca de tres hojas	225 kg	
– tricono	450 kg	
– martillo DTH		100-200 kg
Rotación	10-150 rpm	25-50 rpm
Par motor	2 000 N-m por pulgada de broca Aplicar además un coeficiente 1,33	
Velocidad de fluido	lodo de perforación	aire (puro)
– mínima	0,35 m/s	15 m/s
– máxima	1,5 m/s	25 m/s
Presión mínima de fluido (en bares) para un pozo de 4”	lodo de perforación 1 bar	aire 12 bares
	Depende del diámetro	Depende del diámetro

3 EQUIPOS LIGEROS DE PERFORACIÓN

Los tres equipos de perforación que se describen a continuación han sido desarrollados por la empresa PAT, con base en Tailandia. ACF ha adaptado estos equipos (diseñados originalmente para desarrollar trabajos en Asia, p.ej. formaciones sedimentarias) para el contexto africano (zonas de roca base). Se han desarrollado tres equipos: ACF-PAT201, ACF-PAT 301 y ACF-PAT 401 PTO.

3.1 Equipo ACF-PAT 201

Es un equipo sencillo de rotación compuesto por una estructura y un motor de rotación (Figura 13.6 y Anexo 11), una bomba de lodo y un compresor pequeño para desarrollo de pozos.

Las principales ventajas de esta máquina son su ligereza y su movilidad, lo que permite su traslado a zonas aisladas sin necesidad de utilizar una estación completa de perforación, que pesa mucho*. Una camioneta normal basta para trasladar el equipo de un lugar a otro. El equipo completo se puede trasportar por avionetas ligeras, lo que presenta una gran ventaja en muchos lugares inaccesibles durante crisis humanitarias. Además, la sencillez de su manejo permite que los equipos técnicos locales se independicen en un periodo de tiempo reducido.

(*) Peso neto del equipo completo: 787 kg. Peso bruto del equipo completo: 949 kg. Volumen (8 cajas): 5,5 m^3.

Los pozos perforados se equipan con bombas manuales, o a veces con bombas sumergibles de 4”, dependiendo de la demanda y del caudal disponible. La máxima profundidad de exploración es de 45-60 m en formaciones no consolidadas (arena, arcilla y gravilla). Para profundidades mayores de 60 m, la maquinaria está limitada por la configuración de la cadena de perforación en su forma normal (60 m), por el torno manual, y por la capacidad de la bomba extractora de lodo. Sin embargo, es posible utilizar un equipo opcional que permite la perforación a profundidades de 80 m.

La potencia de perforación se debe al peso de los tubos de perforación situados por encima de la broca y está limitada por el tipo de formación (una capa de laterita, p.ej.).

Su configuración y coste hacen que sea muy aconsejable su utilización en exploraciones con el fin de optimizar un programa de excavación de pozos, evitando así los altos costes de los pozos secos.

Muchas organizaciones humanitarias han llevado a cabo programas de perforación de pozos con este equipo en el Sudeste asiático y África; ACF la ha utilizado en regiones aisladas del Sur de Sudán, Liberia, Sierra Leona, Mozambique o Angola.

La velocidad de actuación depende esencialmente del contexto geológico y de las condiciones de accesibilidad. En contextos muy favorables (nivel freático poco profundo), es posible perforar un pozo por día. Sin embargo, en una campaña de perforaciones, se ha de tener en cuenta también el tiempo invertido en transporte, instalación, embalaje, elección del emplazamiento, construcción de pozos y mantenimiento. Normalmente, en un contexto difícil, es posible perforar un pozo a la semana.

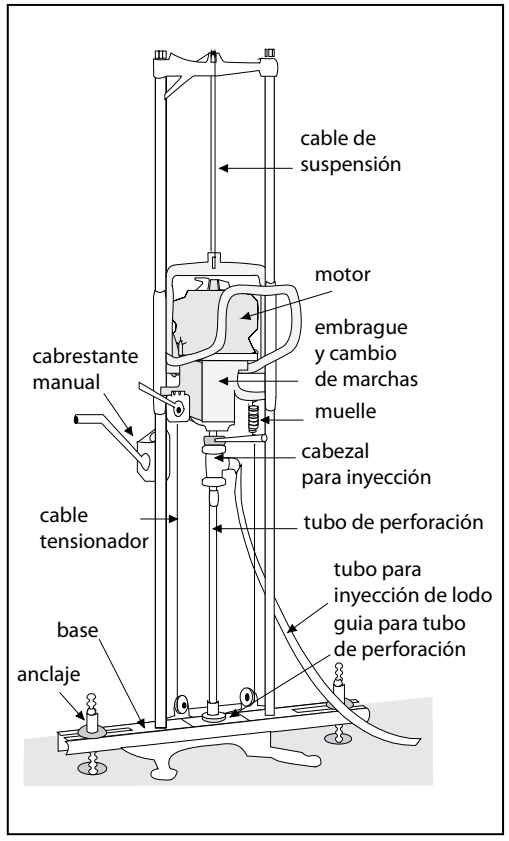


Figura 13.6: Equipo de perforación ACF-PAT 201.

La Tabla 13.V muestra las especificaciones técnicas del equipo ACF-PAT 201.

Tabla 13.V: Características del equipo ACF-PAT 201 (versión 1998).

Chasis	– longitud total de barra transversal: 2,9 m – torno manual equipado con 5 poleas (longitud del cable 11,5 m, relación 4:1) – instalación de chasis para una camioneta
Impulsión	– motor Honda GXV-140 gasolina 5 CV, 3 600 rpm + cambio de velocidades + embrague – velocidad de giro 80-120 rpm
Tubo de perforación, brocas y accesorios	– longitud 1.5 m x 40 unidades – rosca 2” 3/8 API reg. – diámetro exterior de los tubos de perforación 54 mm–rosca estándar – pared 4 mm – peso 16 kg–total 45 m – broca de tres hojas: 1 pcs 8” (103 mm) – 2 pcs 6” ½ (165 mm) 2 pcs 3” ½ (89 mm) – 1 broca de tres hojas 165 mm para arcilla – adaptador: 2 pcs 201 A – 2” 3/8 API hembra – 2 pcs 201 A – 3”1/2 API hembra – caja de herramientas completa
Presión Par torsor Fuerza ascendente	– torno manual – 196 Nm – torno manual máx. 400 kg
Bomba de lodo	– bomba Taki – TGH máx. 42 m – caudal máx.19 l/s – motor – Honda GX 390 – 13 CV gasolina – tubo de aspiración 3” x 4 m – tubo de descarga 1” ½ x 6 m
Compresor de puesta a punto	– motor – Honda GX 390 – 13 CV – 3 600 rpm – compresor – FUSHENG modelo TA 80 – 3 cilindros de compresión – caudal máx. 7,5 l/s – presión máx. 100 m – carrete de tubo para aire de 80 m.

3.2 Equipo ACF-PAT 301

El equipo ACF-PAT 301 (Figura 13.7 y Anexo 11) combina rotación y percusión (DTH), ha sido desarrollado para llevar a cabo perforaciones en todo tipo de formaciones duras sedimentarias. ACF ha adaptado este equipo para formaciones de mayor dureza, como las formaciones de roca base.

En modo rotación, puede perforar a mayor profundidad que el equipo ACF-PAT 201 a través de formaciones de bastante dureza. Puede funcionar sólo en rotación. La profundidad de investigación a la que puede llegar es de 100 m para diámetros de 6” y hasta 150 m para diámetros de 4” (ACF, Birmania, 1996). En modo percusión, puede utilizarse para pozos de profundidad 40 a 60 m y 150 mm de diámetro en rocas y formaciones disgregadas.

Este equipo tiene la mayor parte de las ventajas del equipo ACF-PAT 201, pero tiene una aplicación más amplia. Puede transportarse por avión, y utilizarse para emergencias, su tecnología es relativamente sencilla y accesible para los equipos locales formados. Se puede montar sobre una camioneta o sobre la plataforma de un camión ligero, o directamente sobre el terreno. La estructura puede ser remolcada (sobre dos ruedas, aunque esto no es aconsejable en condiciones peligrosas).

El equipo de ACF tiene un bastidor adaptado a las dimensiones de una camioneta (*pick up*) Land Cruiser que permite el acoplamiento de toda la maquinaria. Es importante fijar unos gatos a la parte trasera de la camioneta o del camión para poder perforar verticalmente y estabilizar el vehículo durante la perforación.

La instalación directa de este equipo sobre el suelo es la técnica más sencilla; permite comenzar de forma rápida, mientras se espera un posible montaje sobre un vehículo.

Desde el año 2002, PAT ha desarrollado una nueva versión del 301, el PAT 301T, instalando el equipo sobre un remolque. El PAT 301T es más sencillo de montar y tiene mayor estabilidad (y eficiencia) que el 301 estándar. Como el remolque es independiente del vehículo, el equipo no impide el uso del transporte durante la perforación como sucede con el 401, consiguiendo, así, mayor flexibilidad operativa.

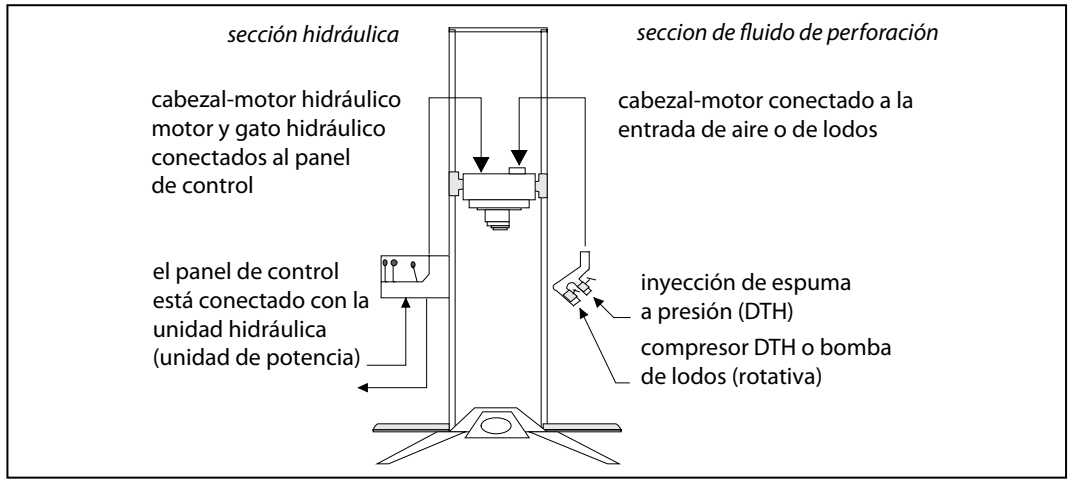


Figura 13.7: Equipo de perforación ACF-PAT 301 – principio de funcionamiento.

Tabla 13.VI: Configuración del lugar dependiendo del contexto de intervención.

Contexto	Características	Configuración del emplazamiento
Pozos en asentamientos de un área urbana o cerca de la base	Distancias cortas entre las perforaciones	Equipo en el suelo o sobre camioneta Compresor en remolque
Pozos en aldeas en zonas dispersas (tipo Sahel)	Largas distancias, malas carreteras	Equipo y compresor en camión
Sólo perforación por rotación		Equipo sobre camioneta, equipo en el suelo

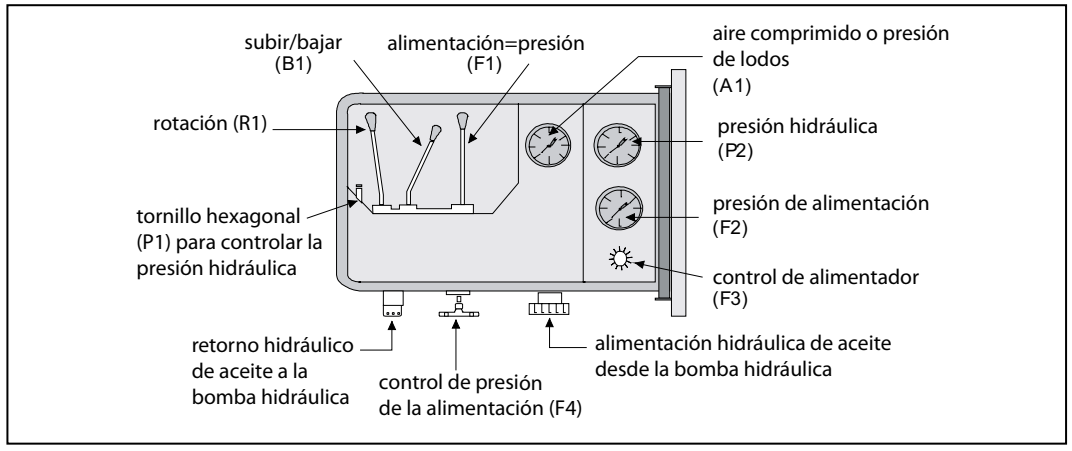


Figura 13.8: Funciones en el panel de control de la ACF-PAT 301 (modelo 1996). La presión hidráulica proporcionada por la bomba es como máximo de 210 – 220 bares y se controla a la entrada en el panel de control con el botón de control de cabeza hexagonal P1. Si la cadena se rompe con excesiva frecuencia, significa que este tornillo no está ajustado correctamente. Presión en el alimentador F3: proporciona una rotación correcta en fase automática. El rango de control del tornillo F3 se ajusta de la forma siguiente: girar el tornillo de control F3 al mínimo de la alimentación; ajustar la presión hidráulica a 400 psi (manómetro F2) usando la válvula F4.

Tabla 13.VII: Características del equipo ACF-PAT 301.

Estructura	– altura: 3,15 m, con una barra transversal de 2,25 m, sobre 2 ruedas – peso 320 kg – diámetro de la plataforma de perforación 200 mm
Cabezal de impulsión	– motor hidráulico – velocidad de giro 0-40 rpm – par torsor 136,5 kgf·m (1 320 Nm)
Tubos de perforación y brocas estándar	– longitud del tren de perforación 2 m x 50 unidades – diámetro exterior. 76 mm – espesor 4 mm – peso 16 kg – paso de rosca: 2"3/8 API reg. – brocas de tres hojas: 2 pcs 9" (228 mm) – 1 pcs 8" (203 mm) – 2 pcs 6"1/2 (165) mm) – 2 pcs 4" (101 mm) – 1 broca de tres hojas 61/2" para arcilla – 3 adaptadores 2"3/8 x 2"3/8 API reg. (hembra – hembra) – 2 adaptadores 2"3/8 x 3"1/2 API reg. (hembra – hembra) – martillo Stenuick Challenger 5 – brocas: 1 x 150 mm – 2 x 165 mm
Unidad hidráulica	– motor: Honda de 13 CV gasolina 3 600 rpm (chasis portátil) – depósito de líquido hidráulico 60 l – bomba hidráulica 250 bares
Sistema de alimentación	– cabezal rotatorio subido y bajado por un cilindro hidráulico y una cadena de transmisión reforzada. – capacidad de elevación: 1500 kg, velocidad máx. 15 m/min
Bomba de lodos estándar	– motor: Honda GX 390 – 13 CV – 3 600 rpm – gasolina (o Yanmar 10 CV diesel, arranque manual, 3 600 rpm, refrigeración por aire) – bomba Taki 65-33/2 (168 kg), 1 000 l/min a 30 m de presión de descarga, 600 l/min a 50 m. de presión de descarga, presión máx. 4 bares
Compresor de tornillo para perforación	– ATLAS COPCO XAH 12 bares -175 l/s* – peso 1.5 T – 2 ruedas – motor Diesel: DEUTZ 115 CV
Compresor de puesta a punto	– motor: GX 390 HONDA 13 CV – 3 600 rpm (o Yanmar 10 CV diesel, arranque manual, 3 600 rpm, refrigeración por aire) – compresor: FUSHENG TA 80 (3 cilindros) – presión máx. 10 bares– caudal máx. 125 l/s – 5 m tubo de ½" de goma conectado desde el carrete hasta el compresor de puesta a punto del pozo – 50 m (ó 80 m) tubo de ½" de goma conectado y atado a la sonda de aire – estructura tubular de acero con manivela de acero para enrollar y almacenar el tubo después de la puesta a punto del pozo.
Bomba para espuma	– motor: Honda GX 120 gasolina – 3,8 CV 3 600 rev/min (también disponible 4,0 CV Yanmar motor diesel, arranque manual, 3 600 rev/min, refrigeración por aire) – Bomba con pistón de tres cilindros (bomba tríplex) – presión máx. 35 bares – caudal máx. 20 l/min – tubería de descarga 25 mm x 6 m – tubería de aspiración 25 mm x 2 m

*Actualmente existen otros compresores disponibles:
– XAS-186 7 bares, 186 l/s
– XAHS-186 12 bares, 186 l/s
– XAHS-236 12 bares, 236 l/s

3.2.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

El equipo está compuesto por un chasis, un cabezal de impulsión y una unidad de energía hidráulica, una bomba (extractora de lodos), un compresor pequeño (para la puesta a punto) y un compresor de aire para el martillo DTH. Las especificaciones técnicas del equipo estándar se indican en las Tablas 13.VII y 13.VIII. Las aplicaciones de los equipos PAT en rotación están por debajo de los estándares aconsejados: el uso del tricono, que necesita una presión elevada, no es muy aconsejable. En la práctica, para formaciones sedimentarias de gran dureza, es mejor la utilización del sistema DTH ya que se requiere mucha menos presión. La velocidad de elevación del aire está limitada por el caudal del compresor utilizado y por el diámetro de la perforación.

Tabla 13.VIII: Características del equipo PAT 301T.

Estructura	– altura: 3,15 m, con una barra transversal de 2,25 m, sobre 2 ruedas – peso 320 kg – diámetro de plataforma de perforación 200 mm – mástil levantado hidráulicamente a una posición vertical desde la posición de descanso – mástil equipado con 2 lámparas para operación nocturna
Cabezal de impulsión	– motor hidráulico – velocidad de giro 0-45 rpm – par torsor 205 kgf·m (1 980 Nm) – posibilidad de desplazarlo para facilitar la instalación de la entubación
Tubería de perforación y brocas	– longitud de las tuberías 2 m x 50 unidades – diámetro exterior 76 mm – espesor 4 mm – peso 16 kg – paso de rosca: 2"3/8 API reg. – broca de tres hojas: 2 pcs 9" (228 mm) – 1 pcs 8" (203 mm) – 2 pcs 6"1/2 (165 mm) – 2 pcs 4" (101 mm) – 1 broca de tres hojas 6"1/2 para arcilla – 3 adaptadores 2"3/8 x 2"3/8 API reg. (hembra – hembra) – 2 adaptadores 2"3/8 x 3"1/2 API reg. (hembra - hembra) – Martillo Stenuick Challenger 5"
Unidad hidráulica	– motor: Yanmar 20 CV diesel, 2 800 rpm (chasis portátil), 3 cilindros, refrigeración por agua, arranque eléctrico – depósito de líquido hidráulico 70 l – bomba hidráulica 250 bares máx.
Sistema de alimentación	– un cilindro hidráulico y una cadena de transmisión eleva y desciende el cabezal de impulsión – capacidad de elevación: 2 300 kg, velocidad máx.: 19,5 m/min – capacidad de descenso: 3 480 kg, velocidad máx.: 14,5 m/min
Bomba de lodo R estándar	– motor: Honda GX 390 – 13 CV – 3 600 rpm - gasolina (o Yanmar 10 CV diesel, arranque manual, 3 600 rpm, refrigeración por aire) – bomba Taki 65-33/2 (168 kg), 1 000 l/min a 30 m de presión de descarga, 600 l/min a 50 m de presión de descarga, presión máx. 4 bares
Compresor de tornillo para perforación	– ATLAS COPCO XAH 12 bares -175 l/s* – peso 1,5 T – 2 ruedas – Motor Diesel: DEUTZ 115 CV
Compresor para puesta a punto	– motor: GX 390 HONDA 13 CV – 3 600 rpm (o Yanmar 10 CV diesel, arranque manual, 3 600 rpm, refrigeración por aire) – compresor: FUSHENG TA 80 (3 cilindros) – presión máx. 10 bares– caudal máx. 125 l/s – 5 m tubo flexible de ½" conectado desde el carrete hasta el compresor de puesta a punto del pozo – 50 m (ó 80 m) tubo flexible de ½" conectado y atado a la sonda de aire – estructura tubular de acero con manivela de acero desmontable para enrollar y almacenar el tubo después de la puesta a punto del pozo
Bomba de espuma	– motor: Honda GX 120 gasolina – 3,8 CV 3 600 rpm (o Yanmar de 4 CV diesel, arranque manual, 3 600 rpm, refrigeración por aire) – Bomba de pistón con 3-cilindros (bomba tríplex) – presión máx. 35 bares – caudal máx. 20 l/min – tubo de descarga 25 mm x 6 m – tubo de aspiración 25 mm x 2 m

*Actualmente existen otros compresores disponibles:

– XAS-186	7 bares, 186 l/s
– XAHS-186	12 bares, 186 l/s
– XAHS-236	12 bares, 236 l/s

3.2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Un circuito hidráulico hace funcionar rotando la columna de perforación y un gato hidráulico eleva y desciende la columna de tubos proporcionándole la presión adecuada (Figura 13.7). Este gato mueve el cabezal de impulsión arriba y abajo de la columna con una cadena. El equipo se opera desde un panel de control (Figura 13.8).

Tabla 13.IX: Características del equipo ACF-PAT 401.

Plataforma de perforación (a instalar sobre un Land Cruiser*)	Compuesta de una unidad hidráulica, un panel de control, depósitos de aceite, 35 tubos de perforación, una bomba de lodos y una bomba de espuma, sistema eléctrico y de iluminación de 12 voltios de corriente continua Peso total del equipo con 70 m de tubos de perforación: 2 t
Cabezal de impulsión	Velocidad de rotación 0-60 rpm Par torsor 2 460 Nm máx. Posibilidad de retirarla para facilitar la instalación del entubamiento.
Tubos de perforación y brocas estándar	Longitud de los tubos 2 m x 35 unidades, diámetro exterior. 76 mm Paso de rosca: 2"3/8 API reg. Peso de cada tubo: 15,2 kg Broca de tres hojas: 2 pcs 9" (228 mm), 1pcs 8" (203 mm) – 2 pcs 6"1/2 (165 mm), 2 pcs 4" (101 mm), 1 broca tricono 6"1/2, 1 broca de tres hojas 6"1/2 para arcilla Adaptadores 2"3/8 API reg. x 2"3/8 API reg. hembra-hembra 2 adaptadores 2"3/8 API reg. x 3"1/2 API reg. hembra-hembra Caja de herramientas, piezas de repuesto, lubricantes Martillo 4" y 5", brocas 165 mm
Unidad hidráulica	Motor Yanmar diesel, 4 cilindros, 30 CV, 2 800 rpm, refrigerado por agua, arranque eléctrico, bombas hidráulicas Presión del sistema 250 bares máx. Capacidad del depósito 125 l
Alimentación del sistema	La cabeza de impulsión asciende y desciende por medio de un cilindro hidráulico y una cadena de transmisión de altas prestaciones Capacidad para el ascenso: 3 500 kg, velocidad máx.: 25,5 m/mín. Capacidad para el descenso: 2 560 kg, velocidad máx.: 34,5 m/mín.
Gatos de estabilización	2 en la parte frontal / 2 en la parte trasera Capacidad de elevación 6 t por gato
Bomba de lodos	Motor: Honda GX 390 – 13 CV – 3 600 rpm – gasolina (o Yanmar 10 CV diesel, arranque manual, 3 600 rpm, refrigeración por aire) Bomba Taki 65-33/2 (168 kg), 1 000 l/min a 30 m de presión de descarga, 600 l/min a 50 m de presión de descarga, presión máx. 4 bares
Bomba de espuma	Motor: Honda GX 120 gasolina – 3,8 CV 3 600 rpm (también disponible: 4,0 CV Yanmar motor diesel, arranque manual, 3 600 rpm, refrigeración por aire) Bomba de pistón triple impulsada por motor hidráulico, 450 rpm, 10 l/min máx., 30 bares máximo
Compresor (como 301)	ATLAS COPCO XAH 12 bares – 175 l/s Peso 1,5 t Existen otros compresores disponibles como para el equipo 301
Compresor para la puesta a punto	Motor: GX 390 HONDA 13 CV – 3 600 rpm (o Yanmar 10 CV diesel, arranque manual, 3 600 rpm, refrigeración por aire) Compresor: FUSHENG TA 80 (3 cilindros) – presión máx. 10 bares– caudal máx. 125 l/s 1/2" x 5 m tubo flexible de goma con conexiones desde el carrete hasta el compresor de puesta a punto del pozo 1/2" x 50 m (opcional 80 m) tubo flexible de goma con conexiones y atada a la sonda de aire Estructura tubular de acero con manivela desmontable de acero para enrollar y guardar el tubo tras la puesta a punto del pozo

(*) También se puede montar el equipo completo en un tráiler.

El martillo neumático se impulsa con un compresor (al principio 175 l/s, 12 bares; actualmente de 235 a 283 l/s, 12 bares). El aire comprimido utilizado para el martillo debe tener una alimentación constante de aceite (el lubricador ha de estar situado entre el compresor y la válvula de entrada de aire). Una bomba de espuma inyecta el espumante para facilitar el transporte de los cortes de terreno hacia la superficie.

3.3 Equipo ACF-PAT 401 PTO

El equipo ACF-PAT 401 PTO se ha desarrollado a partir del modelo 301. Tiene las mismas aplicaciones que el 301, pero facilita la perforación ya que tiene mayor potencia. Sus características se recogen en la Tabla 13.IX.

El equipo funciona con el motor del vehículo que lo transporta: en la versión estándar se usa un Toyota Land Cruiser o un camión Dyna. Una derivación del motor hace funcionar las bombas hidráulicas: bomba para subida/bajada/rotación, bomba de lodos, bomba para el gato de estabilización y bomba de espuma.

El equipo funciona con un solo motor y se controla totalmente desde el panel situado en la parte trasera del vehículo (ver Anexo 11). El transporte, la instalación del equipo y el comienzo del trabajo son trabajos sencillos: se posiciona el vehículo y se estabiliza la plataforma. Se puede transportar el equipo por avión (1 vehículo + 1 compresor). La plataforma de perforación puede montarse sobre el vehículo por un solo equipo de mecánicos en unos días y su peso total es de 4,5 toneladas.

3.4 Otros equipos ligeros de perforación

Existen en el mercado otros equipos de perforación similares a los modelos ACF-PAT. En la Tabla 13.X se comparan las características de los principales equipos ligeros utilizados en los programas de abastecimiento de agua potable. Los equipos Eureka y Dando son británicos. El modelo Stenuick (BB) no se utiliza frecuentemente en la perforación para la obtención de agua, pero es muy útil en la perforación con martillo DTH, su principal característica es que es totalmente neumático, lo que facilita su mantenimiento. En la Tabla 13.XI se comparan los modelos PAT con otros similares.

Tabla 13.X: Comparación entre diferentes equipos ligeros de perforación.
P: presión de servicio. Q: caudal de aire. W: energía.

	Peso del equipo (t)	Potencia de ascenso (kg)	Velocidad de ascenso (m/min)	Velocidad de rotación (rpm)	Par torsor (Nm)	Bomba de lodos	Compresor (DHT)	Comentarios
Eureka	1,5	750		40-75	1 000		no	rotativo
Dando Buffalo 3 000	1,85 1,71	7 000 motor 20 CV + torno 3 000				no	no	opciones: rotativo DTH equipo de impacto
Stenuick* BB		2 600		70	2 600		Q: 250 l/s P: 12 bar	rotativo + DHT neumático
ACF-PAT 201	1 (equipo)	400 manual	manual	80-120	196	Q: 19 l/s P: 4,2 bar	no	equipo rotativo
ACF-PAT 301	3,5 (equipo)	1 590 intermitente	máx.: 15 nor.: 10	0-40	1320	Q: 19 l/s P: 4,2 bar	Q: 125 a 236 l/s P: 12 bar	equipo W: 13 CV rotativo + DTH
PAT 301T	3,5 (equipo	2 300 intermitente	máx.: 19,3 mín.: 1,2	0-45	1 980	Q: 19l/s P: 4,2 bar	Q: 125-236 P: 12 bar	
ACF-PAT 401 Land Cruiser PTO	4,5 (equipo)	3 500 intermitente	máx.: 25,5 mín.: 1,2	0-60	2 460	Q: 15,5 l/s P: 4 bar	Q: 175-236 l/s P: 12 bar	equipo PTO W: 40 CV rotativo + DTH
ACF-PAT 401 Dyna	4,5 (equipo)	3 500	máx.: 25,5 mín.: 1,2	0-60	2 460		Q: 125a236l/s P: 12 bar	equipo PTO W: 40 CV rotativo + DTH
PAT 501	5,5 (equipo)	4 350 intermitente	máx.: 25,5	0-50	4 840	Q: 19l/s P: 4 bar	Q: 175-236 l/s	Trailer

(*) Equipo BB, equipado con un motor neumático F624 para rotación y dos motores F575 para el ascenso y el descenso.

Tabla 13.XI: Comparación entre equipos de perforación PAT.

Descripción	PAT-Drill 201	PAT-Drill 301	PAT-Drill 301T	PAT-Drill 401	PAT-Drill 501
Formaciones	Aluvial, suelo, arcilla	Todas	Todas	Todas	Todas
Sistema de perforación y operación	Manual	Hidráulica	Hidráulica	Hidráulica	Hidráulica
Montaje del equipo	Equipos separados, 3 motores de accionamiento	Equipos separados, 3 motores de accionamiento	1 unidad completa, accionamiento por un motor	1 unidad completa, accionamiento por un motor	1 unidad completa, accionamiento por un motor
Movilidad	No	Remolque de 2 ruedas	Remolque de 2 ruedas	Remolque de 2 ruedas. Montado en Land Cruiser	Remolque de 4 ruedas Montado sobre un camión de 3 t
Transporte	Carga y descarga en pick up	Carga y descarga en pick up	Remolcado por pick -up	Remolcado por camioneta Montado en Land Cruiser	Remolcado por camioneta Montado en camión de 3 t
Profundidad de perforación*	0-60 m	0-100 m	0-100 m	0-120 m	0-150 m
Tubos de perforación (diámetro x longitud)	50 mm x 1,5 m	76 mm x 2 m	76 mm x 2 m	76 mm x 2 m	76 mm x 3 m
Diámetro del pozo en sedimentos, perforación por rotación usando lodos*	3 ½" – 6 ½"	4" – 8"	4" – 8"	4" – 9"	4" – 9"
Diámetro del pozo en roca dura, perforación con martillo DTH, usando aire*	No recomendado	4 ½" – 6"	4 ½" – 6"	4 ½" – 6"	4 ½" – 6"
Perforación con aire, martillo DTH	–	Martillo 3"– 4"	Martillo 3"– 4"	Martillo 4"– 5"	Martillo 4"– 5"
Diámetro de broca	–	90-150 mm	90-150 mm	115-165 mm	115-165 mm
Compresor de aire		250-400 cfm, 7-12 bares	250-400 cfm, 7-12 bares	300-400 cfm, 7-12 bares	300-400 cfm, 7-12 bares
Bomba de espuma	–	Funciona con motor, va como equipo aparte	Accionamiento hidráulico, montada con el equipo	Accionamiento hidráulico, montada con el equipo	Accionamiento hidráulico, montada con el equipo
Peso (sin compresor)	250 kg	700 kg	1 450 kg	1 860 kg	3 080 kg
Información para el transporte de un equipo completo	1,1 ton, 3 m^3	Perforación con lodo y aire, contenedor de 20 pies	Perforación con lodo y aire, contenedor de 40 pies	Perforación con lodo y aire, contenedor de 20 pies	Perforación con lodo y aire, contenedor de 40 pies

*Depende de las condiciones geológicas y la habilidad del operador

4 DISEÑO DEL POZO PERFORADO

4.1 Elección de camisa

La elección de la profundidad y diámetro de la camisa así como la localización del filtro depende del contexto hidrogeológico (profundidad del acuífero, caudal de explotación) y del tipo de bomba a instalar (bomba manual o bomba sumergible). La elección del diámetro de la camisa depende del tamaño (diámetro) de la bomba, que a su vez depende del caudal a suministrar (Tabla 13.XII).

Tabla 13.XII: Caudales y diámetros de bombas sumergibles.

Diámetro exterior de la bomba (pulgadas)	Rango normal de caudales (m^3/h)
3"	1 – 3
4"	3 – 10
6"	10 – 50
8"	50 – 150

Una bomba de 4" entra normalmente en una camisa 100 mm de diámetro. Sin embargo, es aconsejable dejar una holgura de 1 pulgada entre la bomba y la camisa, por tanto se debe usar una tubería 113 mm de diámetro interno para bombas de 4". Esta holgura se debe tener en cuenta

especialmente cuando se instale una bomba eléctrica sumergible. Debe ser lo suficientemente grande como para minimizar las pérdidas de carga (en especial a caudales con grandes pérdidas de carga), pero a la vez lo suficientemente estrecha para permitir el paso de un caudal suficiente por el lateral del motor para su refrigeración. Cuando una bomba motorizada se sitúa en la parte inferior (o a la altura) del filtro es necesario instalar un deflector que dirija el flujo por el motor, asegurando así la refrigeración.

Lógicamente, el diámetro externo, y por lo tanto el espesor de la camisa, depende de los esfuerzos que ha de resistir (presión horizontal del suelo y peso de la camisa que hay por encima). Las camisas de PVC son las más utilizadas para perforaciones de abastecimiento de agua con una profundidad media (no existen problemas de corrosión, son fáciles de manejar e instalar, etc.), y se tratarán más adelante.

El diámetro seleccionado para la perforación (Tabla 13.XIII) debe permitir el paso fácil de la camisa y dejar un espacio para el paquete de grava alrededor del filtro.

Tabla 13.XIII: Diámetros para la camisa de PVC correspondientes a brocas que aseguran unas buenas condiciones de trabajo.

Diámetro externo de camisa	Diámetro mínimo de la broca a usar
4" – 110 mm	6" – 152 mm
4"1/2 – 125 mm	6"1/2 – 165 mm
6" – 165 mm	8" – 203 mm
6"1/2 – 180 mm	8"1/2 – 215 mm
7" – 195 mm	9"5/8 – 245 mm

La calidad del pozo perforado (duración, sostenibilidad, calidad y turbidez del agua, caudal de explotación) depende en gran manera de la instalación del equipo, la situación del filtro respecto a la llegada del agua, la situación del paquete de grava, y finalmente del sellado del espacio anular para evitar la infiltración superficial.

El tamaño de las ranuras del filtro determina la máxima capacidad de descarga hidráulica. La Tabla 13.XIV proporciona un ejemplo de esta información para pantallas de PVC. Esta tabla recoge los límites teóricos superiores pero hay que tener en cuenta que el tamaño de las ranuras se determina inicialmente por el tipo de formación encontrada durante las operaciones de perforación (ver Sección 6.1.1).

Tabla 13.XIV: Rendimiento máximo (m^3/h) por metro de tubería de filtro.

Diámetro de pantalla	Tamaño de ranura (mm.)					
(mm)	00,5	0,75	1,0	1,5	2,0	3
110	2	2,8	3,4	3,7	4,2	
125	2,2	3,0	3,9	4,2	5,0	5,7
160	3	4,1	5,4	5,8	6,5	7,5
180	3,2	4,6	5,8	6,1	7,2	8,1
200		5,0	6,0	6,4	7,6	8,6

Nota: el aumento del diámetro de la perforación no incrementa significativamente la capacidad. Una serie de pruebas en EEUU lo demostraron, los resultados se dan en la Tabla 13.XV.

Tabla 13. XV: Rendimiento en función del diámetro del pozo perforado.

Diámetro del sondeo	D	2D	3D	4D	6D	8D
Rendimiento*	Q	1,12Q	1,19Q	1,25Q	1,35Q	1,43Q

*El incremento de diámetro tiene la misma influencia (mismo coeficiente) en la capacidad específica (m^3/h/m) del pozo que en el rendimiento (m^3/h).

4.2 Pre-camisado

El pre-camisado no suele ser necesario, a menos que las paredes de la perforación sean inestables (formaciones superficiales poco consolidadas). En este caso, el pre-camisado se utiliza como forma de estabilización de las paredes para continuar la perforación. Es aconsejable fijar la base del pre-camisado con una capa de cemento para evitar problemas de colapsamiento y erosión significativa (p.ej. en arenas graníticas, el flujo de aire puede crear una cavidad en la base de la pre-camisa), o en el caso de filtración de contaminantes superficiales (p.ej. un acuífero superficial contaminado que ha de ser aislado).

Con percusión es fácil que las paredes del pozo se derrumben en los primeros metros (antes de alcanzar la roca base), especialmente si se utiliza espuma, debido al agua. Como consecuencia, hay un riesgo elevado de que el martillo quede atascado. Considerando el precio del martillo, es aconsejable el empleo de una pre-camisa cuando se perfora con percusión.

Con el método por rotación, el riesgo de erosión y de colapso se reduce, incluso para grandes profundidades (50 a 80 m), porque el lodo estabiliza (cementa) las paredes. Además, la velocidad de circulación del lodo no es muy alta.

Si la superficie del terreno es poco compacta (arena, suelo) probablemente sean necesarios varios metros de pre-camisa.

Las pre-camisas de PVC no cementadas pueden ser recuperables para profundidades menores a 20 m. Para profundidades mayores es imposible la recuperación de la camisa sin riesgo de rotura. La utilización de camisas de acero permite su recuperación a cualquier profundidad, si la máquina tiene la suficiente fuerza de elevación (peso de la camisa más el rozamiento). Las máquinas ligeras como ACF-PAT no pueden realizar este esfuerzo a profundidades mayores de 20 m.

El diámetro interno de la pre-camisa ha de ser varios mm mayor que el diámetro de la broca utilizada para la perforación: Por ejemplo, para que pase una broca de 165 mm (6"1/2) es necesario una pre-camisa de diámetro interno 178 mm. Una pre-camisa de diámetro interno 167 mm puede utilizarse con cuidado y en perforaciones poco profundas.

4.3 Configuraciones más frecuentes

Estos ejemplos se han tomado de pozos perforados previstos para bombas manuales de 4" o bombas eléctricas sumergibles (Figuras 13.9 y 13.10).

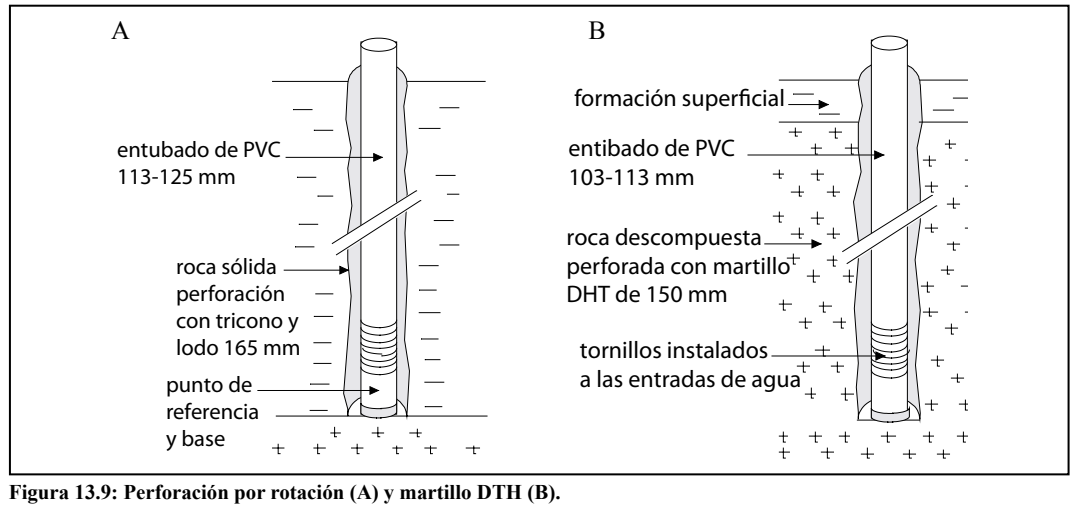


Figura 13.9: Perforación por rotación (A) y martillo DTH (B).

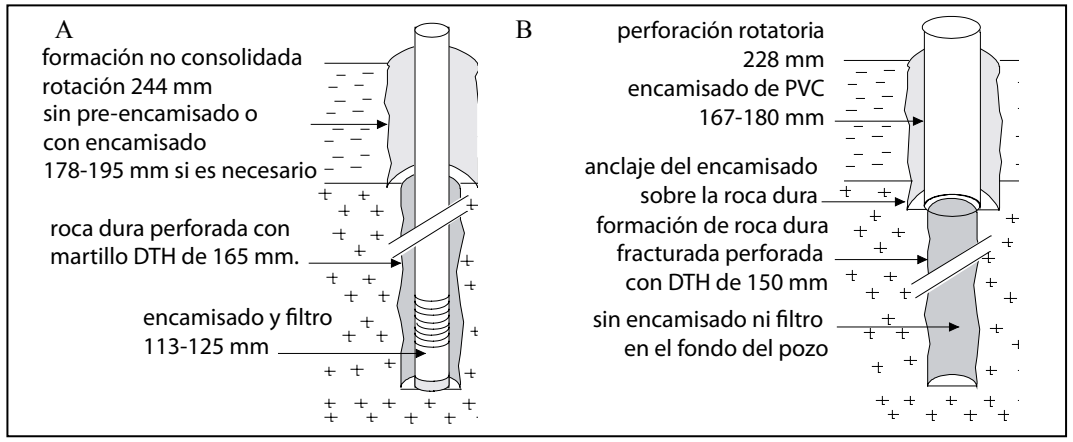


Figura 13.10: Perforación mixta utilizando técnicas de rotación DTH.
A: equipo completo. B: equipo parcial para formaciones parcialmente consolidadas.

Normalmente, las bombas manuales pasan a través de una camisa de diámetro interno 100 mm. Las bombas Kardia K 65 son una excepción, tienen un diámetro externo de cilindro de 96 mm y un posicionador central: hay que usar una camisa de diámetro interno de 113 mm. La pre-camisa deberá ser de 178-195 mm, o 167-180 mm.

Es muy recomendable la utilización de camisas a lo largo de toda la profundidad del pozo con el fin de alargar la vida útil del filtro y asegurar el filtrado de finos en el paquete de grava.

A veces algunos pozos perforados en roca base no se entuban en la parte más baja (especialmente en los equipados con bombas manuales). Se entuba parcialmente, sólo la parte superior menos consolidada con una camisa de 125 mm o mayor. La parte inferior, fracturada, no se encamisa.

Esta técnica no es aconsejable ya que afecta a la vida útil del pozo, aunque las fracturas sean limpias y el agua bombeada aparezca clara al principio.

Excepcionalmente, cuando se utiliza un quipo de perforación ligero en formaciones de gran dureza, donde la perforación es muy lenta, la única solución es realizar perforaciones de menor diámetro (100 mm) y dejarlos sin camisa (sin entubar).

Los diámetros más frecuentes se muestran en la Tabla 13.XVI.

Tabla 13.XVI: Elección del diámetro de perforación y el equipo.

Contexto geológico	Técnica	Pre-camisa (mm)	Broca 3 hojas (mm)	Tubos (mm)	Broca 3 hojas (mm)	Broca DTH (mm)
Sedimentario	Rotación	167 – 180 (DN 165, 6”1/2)(9”)	228	103 – 113 (6”1/2)	165	
Sedimentario	Rotación	178 – 195 (DN 175, 7”)	245	113 -125 (9”5/8)	165	
Consolidado	DTH	167 – 180	228	103 – 113 (DN 100, 4”)		150 (5”7/8)
Consolidado	DTH	178 – 195	244	113 – 125 (DN 115, 4”1/2)		165 (6”1/2)

5 PERFORACIONES

Los ejemplos mencionados en adelante se refieren en especial a las perforaciones realizadas con la máquina ACF-PAT 301, pero la técnica es aplicable a cualquier otra máquina que tenga características similares.

5.1 Elección de la Técnica

El comportamiento de las formaciones a perforar depende obviamente de su naturaleza y de su contenido de agua (Figura 13.11). Únicamente la experiencia permite evaluar correctamente la eliminación de cortes de terreno y el avance de la perforación, según el método utilizado. A partir de cierta profundidad, el método de rotación por aire no es útil ya que es difícil de controlar (bajo rendimiento en la eliminación de cortes de terreno). En formaciones sedimentarias relativamente no consolidadas, la mejor técnica es la perforación por rotación utilizando lodos.

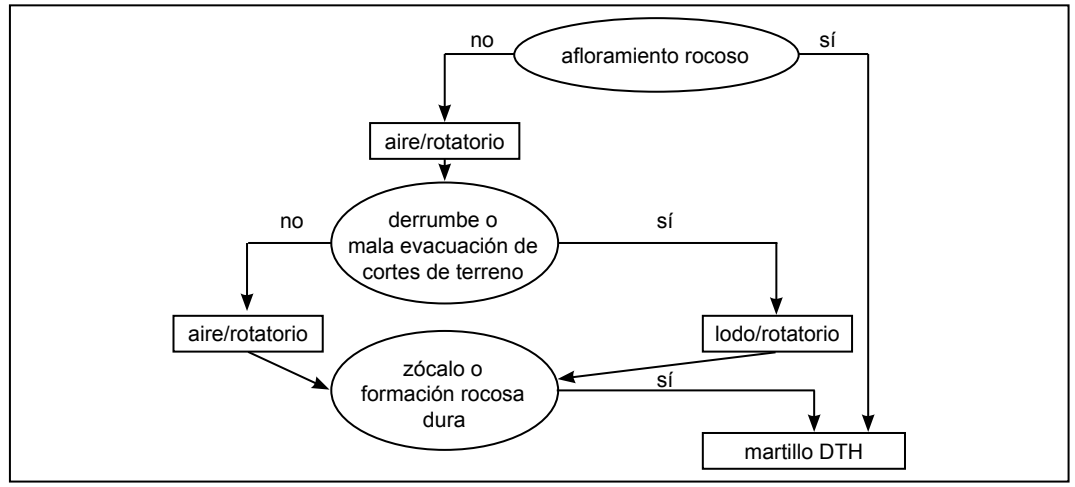


Figura 13.11: Diagrama gráfico para la elección de la técnica de perforación.

5.2 Preparación del emplazamiento

5.2.1 INSTALACIÓN

La organización del emplazamiento (Figura 13.12) debe permitir que la persona encargada de la perforación tenga una visión general con el fin de que pueda actuar con prontitud si detecta algún problema. Se han de tomar algunas medidas prácticas como:

– una barrera de seguridad alrededor del emplazamiento;
– acceso para vehículos;
– abastecimiento de agua (tanques de agua);
– fácil acceso para el relleno de fosas;
– una zona cubierta donde poder escribir;
– un vertedero para los cortes de terreno;
– una zona nivelada para emplazar la maquinaria verticalmente;
– localización y excavación de las balsas de lodos;
– posicionamiento del compresor de modo que no esté expuesto al polvo originado por la perforación (colocar a barlovento);
– instalación de todas las bombas, unidades hidráulicas y motores en una superficie horizontal;
– delimitación clara de la zona de trabajo, con una valla si es necesario.

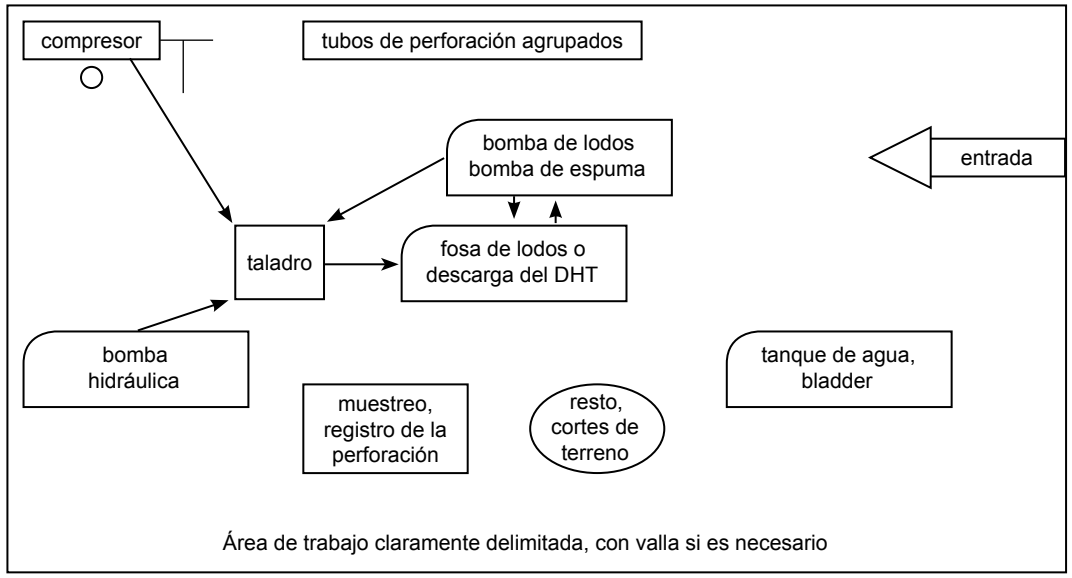


Figura 13.12: Organización del emplazamiento.

Con el fin de asegurar la mejor estabilidad de la máquina sobre el terreno, es aconsejable arriostrarla, atando alambres de acero de 6 mm a los ángulos superiores del marco de la polea, y fijados a piquetas clavadas en el terreno. También es aconsejable disponer algunos sacos de arena sobre los brazos de anclaje de la máquina.

La unidad de presión hidráulica (unidad de energía) debe protegerse del sol y situarse en una zona ventilada con el fin de evitar el recalentamiento, ya que podría producir una pérdida de energía (temperatura crítica del lubricante 60 °C).

La ACF-PAT 301 y la unidad de presión hidráulica están conectadas con dos tuberías por las que pasa el líquido hidráulico. Las conexiones macho y hembra de estas tuberías a la unidad de presión o al panel de control no pueden hacerse incorrectamente. La unidad hidráulica no puede arrancar sin estas conexiones, ya que se produciría una presión sobre las uniones y se bloquearía la circulación.

Las tuberías deben permanecer conectadas durante períodos largos de reposo (el circuito cerrado para la unidad hidráulica y el del panel de control).

El bastidor donde se guardan las tuberías separa las tuberías de perforación en dos grupos, que ayuda a evitar errores en la cuenta y, por tanto, errores en la profundidad perforada. Se aconseja siempre numerarlos con el fin de diferenciarlos. Las roscas deben protegerse con tapones y engrasarse sistemáticamente (tuberías de perforación y cabezal de impulsión) con grasa de cobre cada vez que se utilicen, con el fin de asegurar que la columna de perforación sea estanca y no se atasque.

Si la máquina está montada sobre un vehículo, el emplazamiento debe organizarse de la misma manera. En un vehículo ligero como el Land Cruiser 4x4, la unidad de presión hidráulica y las tuberías de perforación se colocan en la parte trasera, y el compresor se remolca por otro vehículo que transporta el resto del equipo. En camiones de 5 t, es posible cargar también el compresor en la misma plataforma.

Organizar el emplazamiento con la máquina montada en un vehículo es más rápido. Los gatos se usan para estabilizar el equipo en un plano vertical, para la elevación del mismo y para la estabilidad del vehículo. Se deben disponer unas vigas debajo de los gatos para distribuir el peso por un área mayor.

5.2.2 FOSAS DE LODO

Las fosas de lodo constituyen la reserva del fluido de perforación y permiten el reciclado una vez separados los cortes del terreno. Para perforaciones poco profundas (20-30 m) en formaciones no consolidadas, se pueden utilizar las dimensiones dadas en la Figura 13.13 y en el Cuadro 13.3.

Se excava un primer canal de 2 m de longitud y de 0,20 x 0,20 m de sección transversal desde el emplazamiento elegido para la perforación que desagua en la primera fosa. Debe ser lo suficientemente largo para permitir que la fosa se encuentre alejada de la losa del futuro punto de abastecimiento para evitar asentamientos diferenciales debajo de dicha losa.

La primera fosa (fosa de sedimentación) facilita la separación que comienza en el canal. Su volumen es de 0,2 m^3 (0,6 x 0,6 x 0,6 m).

El eje del segundo canal debe estar desplazado respecto del primero, de esta forma se desvía y atenúa el caudal para facilitar la sedimentación.

La segunda fosa (fosa de bombeo) es una reserva desde la cual se bombea el lodo de perforación para inyectarlo en la columna de perforación, su volumen aproximado es de 1 m^3 (1,5 x 0,8 x 0,8 m). Las fosas y los canales se limpian periódicamente para eliminar los sedimentos arrastrados en el curso de la perforación.

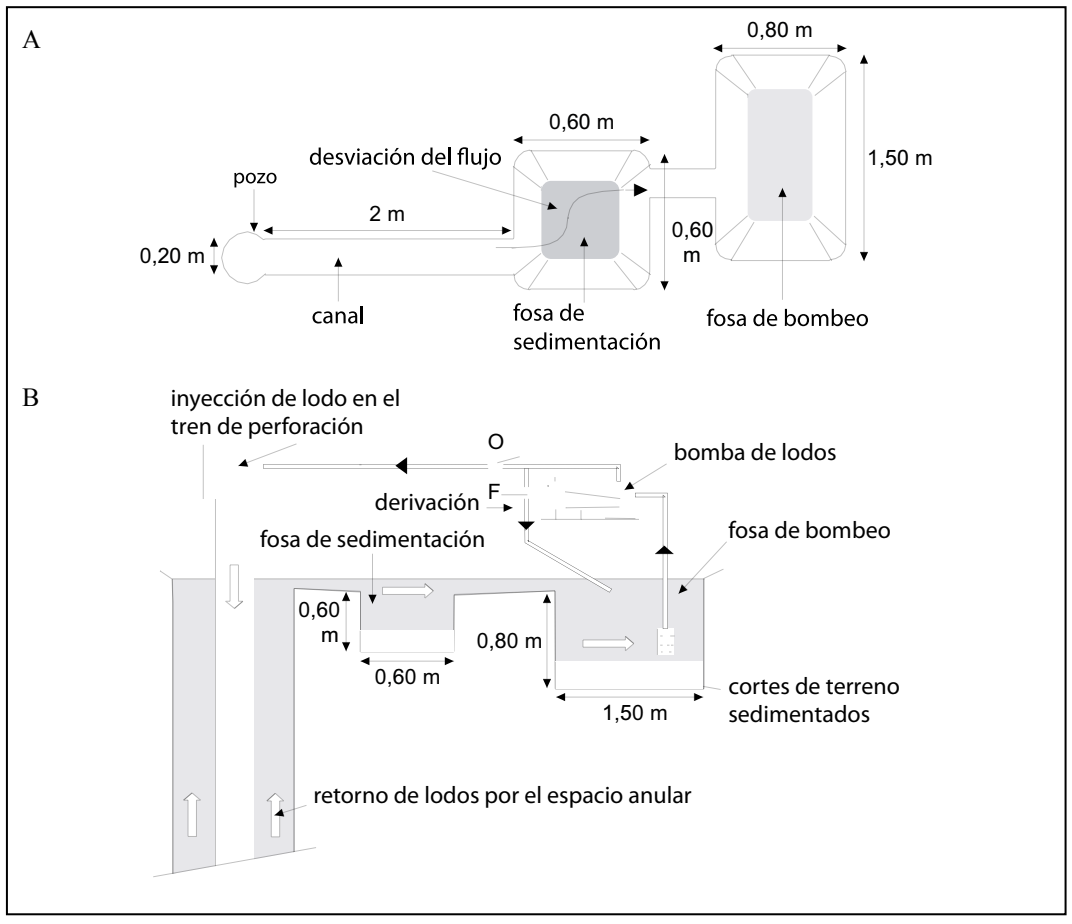


Figura 13.13: Circulación del lodo. A: vista en planta; B: sección.

Cuadro 13.3
Diseño de fosas de lodos.

Las dimensiones de las fosas de lodos se calculan teniendo en cuenta la profundidad de la perforación. Teóricamente, el volumen total de fosas ha de ser igual a tres veces el volumen del pozo perforado (dimensiones en m):

– para la fosa de sedimentación:

Anchura = $\sqrt[3]{}$ (volumen del pozo en litros x 0,57)

Longitud = 1,25 x ancho

Profundidad = 0,85 x ancho

– para la fosa de bombeo:

Anchura = igual que para la fosa de sedimentación

Longitud = 2,5 x ancho

Profundidad = 0,85 x ancho

5.2.3 PREPARACIÓN DEL LODO DE PERFORACIÓN

En formaciones arcillosas, es preferible perforar sólo con agua, para evitar el bloqueo del acuífero. El agua se cargará con arcilla del terreno al avanzar la perforación.

Si no existe información fiable sobre la naturaleza de las formaciones a perforar, el agua de perforación debe mezclarse con bentonita o policol para aumentar la densidad y para preparar el lodo de perforación para ser espesado o aligerado, como sigue:

– el policol es un polímero que se utiliza mucho en perforación por rotación. Debe mezclarse en una proporción de 2,5 a 5 kg por m^3 de agua. La mezcla agua-policol es más homogénea que la mezcla de agua y bentonita, y no necesita tanto cuidado en su uso. Existen muchas clases de policol con características diferentes según sean los contextos (biodegradable, anticoloidal, para ambientes salinos, para diferentes climas, etc.);

– la bentonita es una arcilla en polvo que debe mezclarse en una proporción de 15-30 kg por m^3 de agua. Se corre el riesgo de sellar el acuífero, pero esta propiedad es útil en formaciones muy permeables (gravas, arenas), donde las pérdidas de lodo de perforación y el riesgo de colapso son significativas.

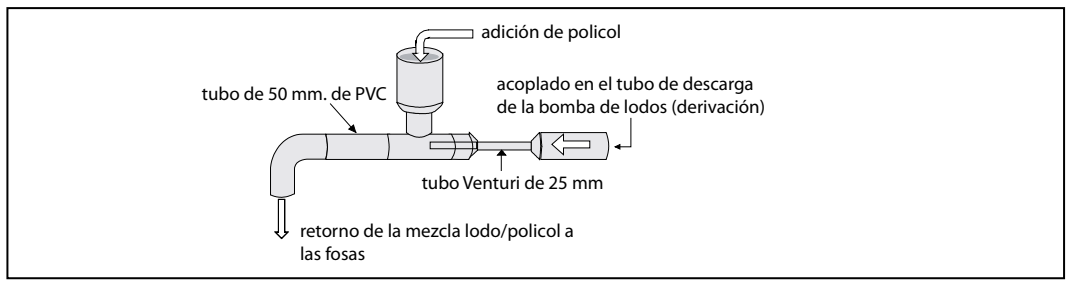


Figura 13.14: Mezclador Venturi hecho con piezas de PVC.

Para la preparación del lodo de perforación se ha de usar agua limpia. Es fundamental disponer de un almacenamiento de agua de 5 - 10 m^3, de esta forma se podrá reponer cualquier pérdida de lodo de perforación lo más rápidamente posible.

La densidad del lodo de perforación debe ajustarse a medida que avance la perforación. Con la experiencia, y dependiendo del tipo de perforación, el encargado de la perforación ajusta la densidad. La arcilla tiene la propiedad de espesar el lodo, por lo que habrá que añadir agua para contrarrestar este efecto. En formaciones más sueltas o arenosas, es necesario utilizar un lodo bastante espeso ya que la entrada de agua puede aligerarlo demasiado.

Para obtener una mezcla homogénea, se debe espolvorear el policol o la bentonita sobre el chorro de agua durante el llenado de la fosa. Se puede construir una mezcladora con algunas piezas: se hace un tubo Venturi y después se conecta al by-pass de la descarga de la bomba (Figura 13.14).

El lodo de perforación circula de fosa en fosa para permanecer homogéneo hasta el comienzo de la perforación.

5.2.4 ELIMINACIÓN DE LOS CORTES DE TERRENO EN LA TÉCNICA DTH

Los cortes de terreno (y el agua con la espuma) se suben a la superficie soplando aire comprimido, después se recogen para su análisis (y la estimación del caudal).

Cuando la máquina está instalada sobre un vehículo, la mezcla de agua y cortes de terreno salpica la parte inferior de la cabina. Se hace necesario crear un área circular en el terreno que dirija el caudal hacia un desagüe. En la práctica, la manera más efectiva de canalizar los cortes de terreno y evitar las salpicaduras es colocar una tubería de 1-2 m (Figura 13.15) por debajo de la plataforma de perforación. Y se coloca un cubo debajo de la salida de los cortes de terreno.

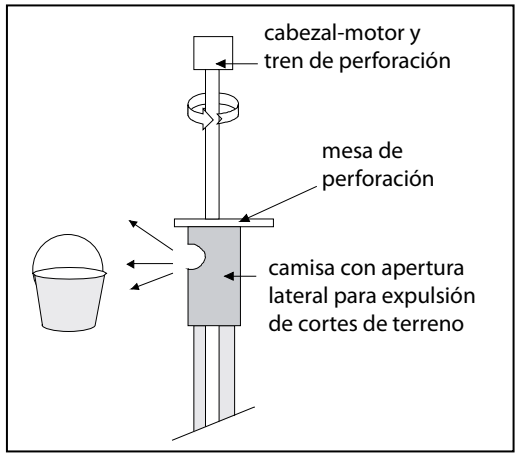


Figura 13.15: Recogida de cortes de terreno.

5.3 Perforación por rotación

5.3.1 COMIENZO

Es fundamental seguir el procedimiento recogido en la Figura 13.16.

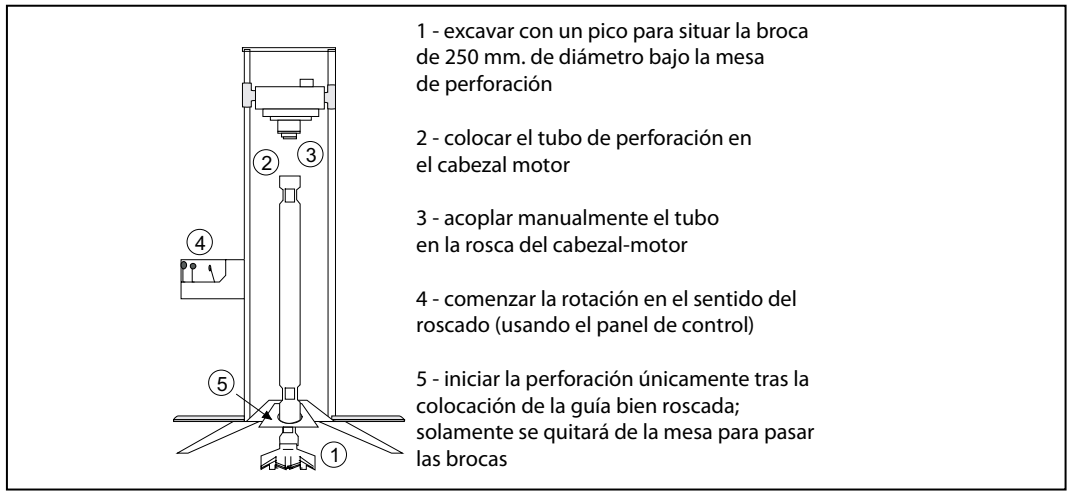


Figura 13.16: Colocación del primer tubo de perforación.

5.3.2 AVANCE AÑADIENDO TUBOS DE PERFORACIÓN

El progreso en la perforación se regula con el par torsor y la presión sobre la broca de perforación, controlados ambos desde el panel de control. Las soluciones posibles a los problemas de perforación se explican detalladamente en el párrafo 5.3.4.

El pozo debe perforarse hasta el final del paso de la tubería de perforación con el fin de crear un espacio entre el fondo del agujero y la broca de perforación cuando tengamos que cambiar el tubo de perforación. Cuando se alcance el final de la tubería, se eleva y se baja en toda su longitud con el objeto de comprobar la perforación y de limpiar las paredes. Se pueden añadir tuberías de perforación siempre y cuando el lodo de perforación no esté demasiado saturado de cortes de terreno (Figura 13.17).

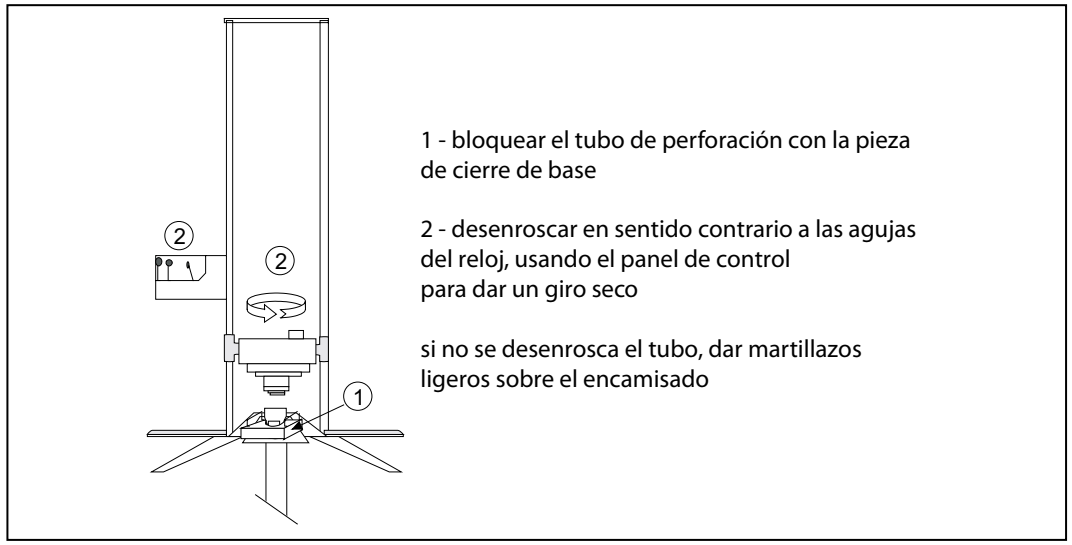


Figura 13.17: Ajuste de la tubería de perforación.

Después de cambiar la descarga de la bomba de lodo para que el lodo circule de fosa en fosa (ralentizando el motor), se puede proceder a cambiar la tubería de perforación. La parada y arranque del flujo de lodo deben realizarse lo más suavemente posible para evitar la desestabilización de las paredes del pozo.

La pieza de base de cierre sujeta las tuberías de perforación suspendidas en la perforación durante la adición o eliminación de tubos: engancha el tubo de perforación a nivel de la plataforma del equipo (Figura 13.18).

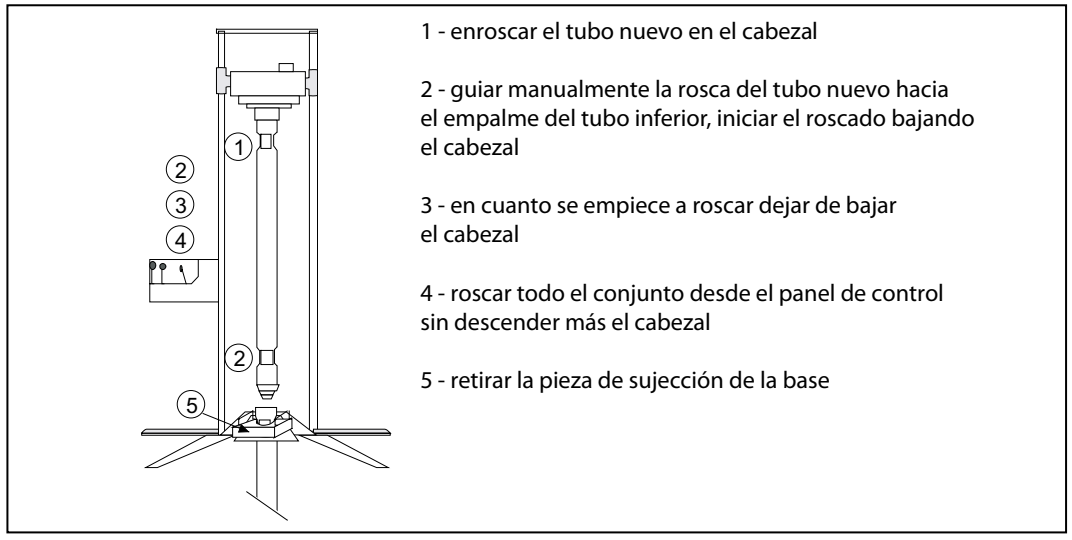


Figura 13.18: Sujeción de los tubos de perforación en suspensión.

5.3.3 ELIMINACIÓN DE UN TUBO DE PERFORACIÓN

El cabezal de impulsión se eleva hasta su máxima altura y la pieza de base engancha el tubo de perforación a la plataforma. Para eliminar una tubería, se desenrosca el tubo por la rosca superior utilizando el cabezal de impulsión primero y luego la llave de tubos; después se desenrosca la parte inferior del tubo (Figura 13.19).

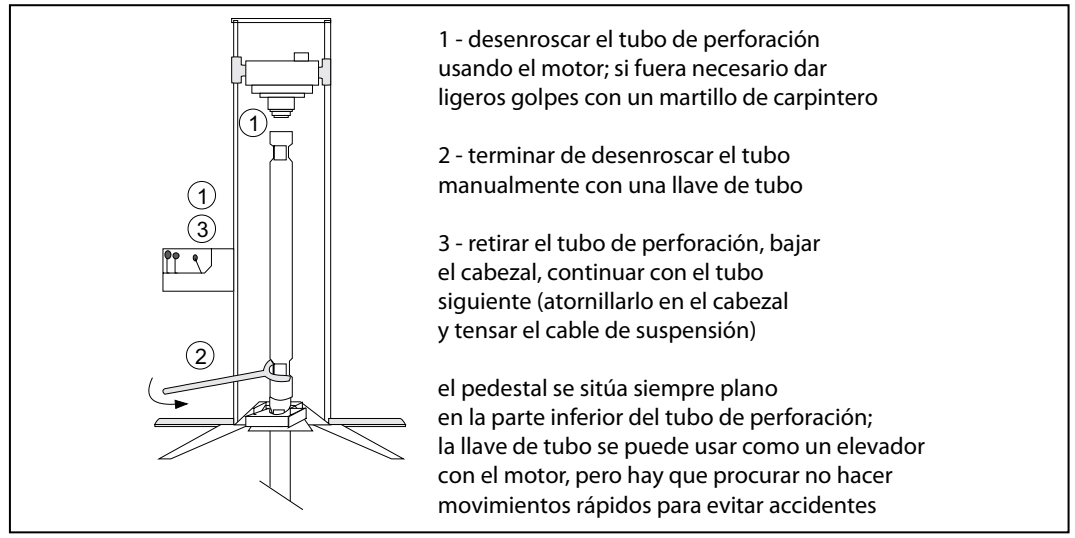


Figura 13.19: Eliminación de un tubo de perforación.

5.3.4 PROBLEMAS USUALES

Durante el proceso de perforación pueden aparecer muchos problemas, pero la mayor parte de ellos se resuelven fácilmente con un poco de experiencia (Tabla 13.XVII). El éxito depende del seguimiento constante de todos los factores que influyen en el progreso de las operaciones, observación del terreno perforado, "escucha" de la maquinaria: los encargados más experimentados prestan mucha atención en los momentos clave de la perforación, para detectar cualquier anomalía.

Tabla 13.XVII: Problemas frecuentes en la perforación por rotación y soluciones recomendadas.

Observaciones – dificultades	Soluciones recomendadas
Pérdidas significativas y/o dilución del lodo	aumento de la densidad del lodo de perforación usar bentonita en lugar de policol instalar una pre-camisa
Espesamiento del lodo de perforación	vaciado y limpieza de fosas añadir agua limpia
Paredes de la perforación inestables, derrumbándose, erosión de paredes	aumentar la densidad del lodo de perforación reducir la velocidad de circulación del lodo reducir el tiempo de limpieza y la circulación encamisar inmediatamente instalación de pre-camisa
Colapso de paredes, parada de la circulación, bloqueo de la circulación	aumento de la presión y del caudal del lodo de perforación elevación de la cadena de perforación hasta reponer la circulación instalación de pre-camisa
Sellado del acuífero	limpieza con agua limpia para reducir el apelmazamiento usar policol antes que bentonita

5.3.5 ANÁLISIS DE LOS CORTES DE TERRENO Y SEÑALES DE AGUA

El hidrogeólogo o los asistentes determinan la sección geológica del terreno a perforar a medida que progresa la perforación y lo detallan en el informe del pozo perforado. Los cortes de terreno que llegan a la superficie junto con el lodo de perforación son una fuente de información importante: su análisis geológico ayuda a identificar las formaciones atravesadas, su naturaleza, su permeabilidad (indicativa de un yacimiento) y su capacidad de proporcionar agua. Se toman muestras en cada cambio de tubería de perforación y de formación, manualmente, a la salida de la perforación y se colocan en una caja con diferentes compartimentos con el fin de visualizar la sección geológica. Se introducen después en bolsas de plástico con el nombre de la perforación y la profundidad a la que fueron tomadas. Las muestras están cubiertas con lodo de perforación lo que dificulta su interpretación, por lo que deben ser lavadas con agua limpia.

En la perforación por rotación, no existe ningún dato que indique de forma clara la presencia o la ausencia de agua durante el proceso de perforación: únicamente los ensayos de agua (soplado directo) y los ensayos de bombeo, llevados a cabo una vez que el pozo ha sido equipado, permiten confirmar la presencia de agua, y evaluar el caudal de explotación. De todas formas, existen varios indicadores que permiten localizar un acuífero durante la perforación:

– análisis de los cortes de terreno: como se ha indicado con anterioridad, los cortes del terreno indican la presencia de un acuífero cuando revelan la existencia de capas de material permeables (arenas, gravas), contrastando con información obtenida de otras perforaciones que se hayan realizado en la misma zona y que hayan sido positivas;

– pérdida de lodo de perforación: lo que indica una pérdida a través del terreno, que se evidencia al observar un rápido descenso en los niveles de las fosas durante la circulación o en la perforación cuando la circulación ha parado (p.ej. durante el cambio de tuberías de perforación). Este fenómeno indica que la perforación atraviesa capas de material permeable;

– señales de oxidación y alteraciones visibles de los granos de cuarzo o feldespato (aspecto ocre u oxidado) son signos de la presencia de agua. Sin embargo, pueden ser señales de movimiento de agua en el pasado y puede que no reflejen, por tanto, una situación actual (p.ej. si el nivel estático ha descendido);

– el hecho de que el lodo de perforación se diluya indica aportación de agua. Pero este fenómeno se detecta rara vez, ya que la presión del lodo de perforación es mayor que la del acuífero y tiende a taponar dicho acuífero.

5.4 Perforación por Percusión DTH

5.4.1 AJUSTE Y LUBRICACIÓN DEL MARTILLO DTH

El martillo DTH es una herramienta de precisión, consiste en un pistón que se desliza por dentro de un cilindro por el efecto del aire comprimido. El pistón golpea la broca durante la fase de percusión y el aire comprimido sale durante la fase de soplado (Figura 13.20).

Es fundamental mantener el martillo lubricado, y el aire inyectado debe ser asimismo lubricado a lo largo de toda la perforación. Se debe colocar un lubricador entre el compresor y la válvula de admisión de aire de la broca, que inyecte lubricante de perforación biodegradable. La operación se controla soplando aire lubricado sobre una pequeña plancha situada debajo de una tubería de perforación suspendida. El caudal óptimo (0,2 l/h) se obtiene cuando la plancha se pulveriza de forma suave y uniforme. Los ajustes se llevan a cabo con el botón situado en el lubricador: el botón se gira totalmente hacia la derecha (cerrado) y después se gira un cuarto hacia la izquierda. Si se utiliza espuma, la cantidad de lubricante ha de ser mayor. En cada cambio de tubería de perforación es esencial comprobar la presencia de lubricante en el aire que sale de la cabeza de perforación. Finalmente, cuando el martillo se haya desarmado completamente, es necesario lubricarlo (introducir directamente un lubricante hidráulico) y engrasar todas las roscas (con grasa de cobre).

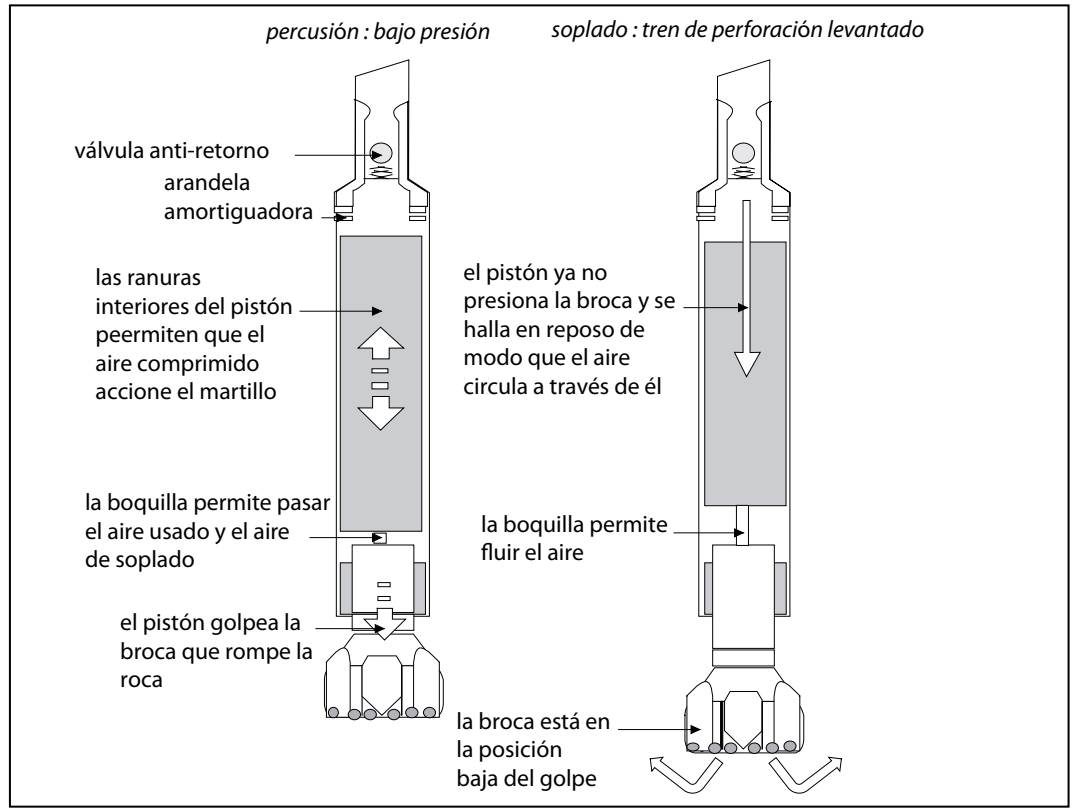
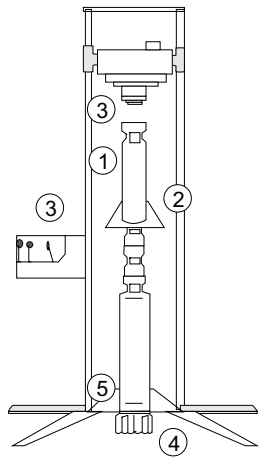


Figura 13.20: Funcionamiento del martillo.

5.4.2 INSTALACIÓN DEL MARTILLO

En zonas de roca base, se perforan las capas disgregadas por rotación utilizando aire o lodo de perforación hasta que se llega a dicha roca base, y a partir de ahí se continúa utilizando el martillo (Figuras 13.21 y 13.10).



1 - colocar el martillo en el tubo de 1 m. previsto para esta aplicación.

2 - pasar la guía de tubos alrededor del tubo de 1 m.

3 - colocar manualmente el tubo de 1 m. en el cabezal y roscarlo en el sentido de las agujas del reloj

4 - comprobar la percusión del martillo colocando una tabla de madera debajo y suspendiendo levemente el martillo; verificar si la lubricación es buena (salpicaduras sobre la tabla)

5 - roscar la guía de tubos sobre la mesa tan pronto como el martillo esté encajado en el pozo

Figura 13.21: Colocación del martillo.

Hay que tomar algunas precauciones en la instalación y descenso del martillo hasta el fondo de la perforación:

– hay que limpiar con aire comprimido todos los tubos de perforación para eliminar todos los residuos de lodo antes de conectar el martillo (para evitar dañar el martillo);

– antes de guardar los tubos usados en la perforación por rotación, se han de limpiar con agua a presión para eliminar residuos de lodos;

– antes de bajar el martillo DTH, se debe medir la profundidad de la perforación (con una sonda) para comprobar cualquier posible colapso;

– cuando se añade un tubo de perforación, se procede a su limpieza antes de unirlo al cabezal de impulsión o a la cadena de perforación (situar una plancha sobre la tubería de perforación anclada en la base y utilizar aire para eliminar contaminantes);

– el lodo de perforación que contiene la perforación se limpia regularmente (soplado de aire) a medida que el martillo desciende. Si la perforación tiene una pre-camisa y el espacio entre la camisa y la broca es pequeño (unos pocos milímetros), siempre existe el riesgo de poner en marcha el martillo en modo percusión prematuramente si roza con las paredes de la camisa, lo que la dañaría.

5.4.3 PROCESO DE PERFORACIÓN

Antes de comenzar la percusión, se empieza con una rotación en sentido de las agujas del reloj y se mantiene durante la subida y bajada de la cadena de perforación. Sólo se detiene cuando las demás operaciones cesan.

Cualquier rotación en sentido contrario a las agujas del reloj puede soltar la cadena de perforación o el mismo martillo, causando su caída al fondo de la perforación, además este hecho puede agravarse por las vibraciones de la percusión. La recuperación de estas piezas requiere herramientas especiales y es una operación bastante delicada. Se debe evitar a toda costa, por tanto, la rotación en sentido contrario a las agujas del reloj durante la percusión.

5.4.3.1 COMIENZO DE LA PERFORACIÓN

Con el flujo de aire cerrado, se coloca la broca unos centímetros por encima del suelo y comienza la rotación en sentido de las agujas del reloj. Se activa el flujo de aire y se baja el martillo de forma gradual, presionando sobre el terreno, hasta que comienza la percusión.

Inicialmente, el flujo de aire se abre sólo la mitad, la percusión es relativamente débil y la rotación es lenta, hasta que la broca penetra en el terreno. Las válvulas de aire se abren progresivamente para incrementar la percusión.

Se controla la presión y la rotación para regular el avance de este momento.

5.4.3.2 AVANCE

Una buena perforación mantiene un equilibrio entre la presión y la rotación, obteniendo una penetración regular y constante y una rotación suave (Figura 13.3).

La perforación se purga regularmente (cada 50 cm) soplando aire para eliminar los cortes de terreno y evitar bloqueos. Los cortes más grandes tienden a permanecer en suspensión por encima del martillo DTH durante la perforación. Si el aire en circulación se detiene, los cortes de terreno pueden caer sobre el martillo DTH y bloquearlo.

Para purgar la perforación, se retira ligeramente el martillo DTH (parando la percusión) y se sitúa en posición de soplado. Todo el aire soplado por el compresor debe permitir la purga total de la perforación. Puede que sea necesario para la purga completa alzar toda la tubería de perforación.

5.4.3.3 ADICIÓN Y ELIMINACIÓN DE TUBERÍAS DE PERFORACIÓN

Se puede consultar el procedimiento explicado en las Secciones 5.3.2 y 5.3.3 para perforación por rotación.

Antes de desenroscar los tubos de perforación, se comprueba la presión residual en la cadena de perforación con un manómetro. Esta presión se mantendrá alta si el espacio anular se ha bloqueado con cortes de terreno (ver Sección 5.4.4 sobre las precauciones a tener en cuenta para evitar esto): en este caso las tuberías han de desenroscarse con cuidado para que la presión descienda de forma gradual.

La lubricación por aire se comprueba al añadir cada tubo de perforación.

5.4.4 DIFICULTADES Y SOLUCIONES POSIBLES

La perforación por aire de formaciones constituidas por materiales no consolidados, que no haya sido entubada, puede presentar algunas dificultades:

– en los primeros pasos de la perforación, el aire a presión puede erosionar el suelo alrededor de la perforación y poner en peligro la estabilidad de la máquina;

– durante el proceso de perforación, el movimiento de los cortes de terreno hacia la superficie erosiona las paredes de la perforación, lo que puede causar el colapso y bloquear la cadena de perforación;

– las pérdidas de aire en formaciones porosas pueden disminuir la velocidad de ascenso de los cortes de terreno.

Si la formación superficial no tiene un mínimo de estabilidad, y los cortes de terreno no ascienden a la superficie y taponan la perforación, es mejor utilizar el lodo de perforación que el aire en la técnica por rotación. Si la superficie se colapsa, la pre-camisa es fundamental para poder continuar la perforación con martillo.

Para resolver los problemas que surgen durante el proceso de perforación existen diversas soluciones, tales como las recomendadas en la Tabla 13.XVIII. Añadir espuma (polímero) modifica las características del aire que circula de forma apreciable y resuelve algunos problemas.

Tabla 13.XVIII: Problemas frecuentes en la perforación con martillo DTH y soluciones recomendadas.

Observaciones – dificultades	Soluciones recomendadas
Mala subida de cortes de terreno	Aumentar el tiempo de soplado Inyección de espuma y agua
Disminución del caudal de aire a la salida de la perforación – bloqueo por cortes de terreno Presión residual alta en las tuberías	Inyección de espuma y agua Cuidado al desenroscar los tubos de perforación
Pérdida de aire en la formación superficial	Inyección de espuma Si es necesario instalar pre-camisa
Bloqueo con cortes secos o ligeramente húmedos Formación de pelotas pequeñas	Inyección de agua y espuma si fuera necesario Soplado frecuente a alta presión Levantar la cadena de perforación
Erosión de las paredes debido al aire soplado y retorno de los cortes a la superficie	Disminuir el caudal de aire Usar espuma Pre-camisa
Formación de una gran cavidad	Detener la perforación Instalar camisa o pre-camisa de inmediato
Bloqueo de la broca por caída de escombros	Rotación brusca, subiendo y bajando para romper los escombros Inyectar agua y espuma a gran presión
Bloqueo de la rotación	Percusión y comienzo de rotación brusca Rotar ligeramente girando en sentido contrario a las agujas del reloj para aumentar la brusquedad de las sacudidas
Perforación en una cavidad	Dejar a juicio de los encargados

5.4.5 ANÁLISIS DE LOS CORTES DE TERRENO, INDICIOS DE AGUA Y CÁLCULO DEL CAUDAL

Como el fluido utilizado en la percusión es aire, los cortes de terreno estarán limpios al no tener lodo de perforación, facilitándose así el análisis. Incluso el uso de la espuma no dificulta la observación de los cortes. Generalmente, cuanto mayores sean los cortes de terreno, más "fragmentable" es la formación, y cuanto más finos sean (polvo), mayor dureza tiene la roca. La presencia de fracturas se puede identificar con grandes cortes de material. Adicionalmente, cualquier signo de erosión puede ser indicativo de una corriente de agua (actual o antigua).

En la perforación con aire, la introducción de agua es visible y cuantificable en la mayor parte de los casos (retorno de una mezcla de agua y cortes de terreno cuando se hace el soplado). Sin embargo, a veces el agua pasa desapercibida porque existe un bloqueo producido por los cortes de terreno que taponan las paredes del pozo.

Es fácil estimar el caudal de agua durante el proceso de perforación para decidir cuándo se debe finalizar la perforación y equipar el pozo. Se toman medidas de caudal para cada aporte de agua significativo (soplado). Además, toda el agua que emerge del pozo se canaliza hacia una salida con una tubería para facilitar la medida con un cubo.

El aporte de agua en el pozo acabado debe ser regular y continuo. El caudal medido es generalmente menor que la capacidad del pozo ya que los cortes de terreno bloquean algunas de las zonas de aporte, y el pozo no se ha desarrollado por completo. De todas formas, el aporte de agua es en general progresivo: al principio aparece en forma de humedades, después en forma de caudal procedente de varias fisuras o fracturas. En ocasiones, al cortar una fractura bien cargada, se produce un aumento brusco de caudal.

6 EQUIPAMIENTO DEL POZO PERFORADO

El equipamiento del pozo (instalación del filtro y camisa) es un paso fundamental en la construcción del pozo. La instalación del filtro y de la camisa tiene una gran influencia en el rendimiento del pozo así como en su vida útil. El pozo debe protegerse de la contaminación superficial que pueda introducirse por la camisa al realizar los trabajos en superficie (Figura 13.22).

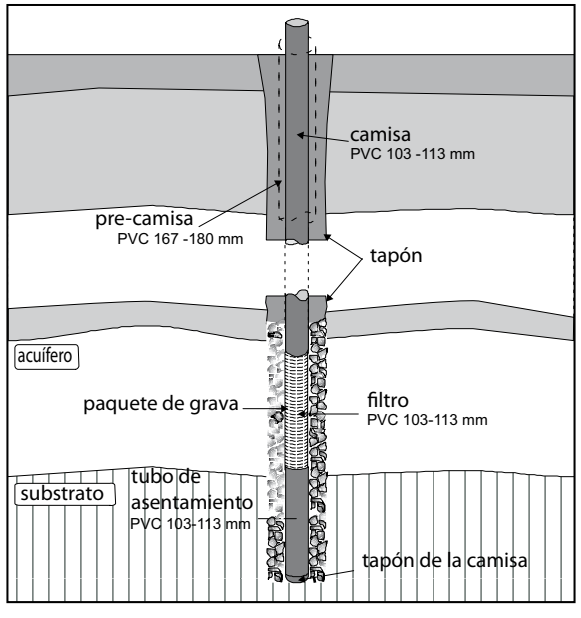


Figura 13.22:
Equipamiento del pozo (basado en ACF, Uganda, 1997).

6.1 Entubación permanente

6.1.1 ELECCIÓN DE CAMISA Y FILTRO

El PVC es el material más aconsejable para pozos poco profundos. Es preferible la utilización de camisas reforzadas en caso de juntas atornilladas. Se puede calcular la fuerza mecánica de la camisa (Cuadro 13.4). Debe ser lo suficientemente fuerte como para evitar la deformación de la tubería durante la instalación (ya que los agujeros no son siempre circulares) y durante el bombeo, que presiona la tubería.

Cuadro 13.4
Resistencia al aplastamiento del entubado/camisa

En los pozos, una de las características mecánicas más importantes es la resistencia al aplastamiento de la entubación. A veces, esta información la proporcionan los proveedores, pero se puede calcular con la siguiente fórmula simplificada:

$$Re = K \cdot E \cdot (e/D)^3$$

donde Re es la resistencia al aplastamiento (bares), K un coeficiente adimensional (para PVC K = 2,43 (Tubafor®), para acero K = 2,2), E el módulo de elasticidad (bares) del material a 20 °C (para PVC 3 x 10^4, para acero 2 x 10^6), e el espesor de la camisa, y D el diámetro externo.

Para una camisa ranurada (filtro), los valores calculados deben ser multiplicados por un coeficiente (1 – F), donde F es la fracción de agujeros. Para casos particulares, consultar al distribuidor.

Los esfuerzos, p.ej. la presión lateral sobre la camisa/entubación, se calculan generalmente a partir de:

– el peso específico del terreno, con las fuerzas laterales igual a la mitad de las fuerzas verticales, e igual al peso del material situado por encima no consolidado, seco o saturado (peso específico de 2 a 2,5). Normalmente, se considera que las formaciones de gran dureza no transmiten ninguna presión lateral;

- la presión debida a la presencia de agua o al lodo de perforación (presión hidrostática en bares P = H d/10).

Por ejemplo, si el nivel estático está próximo a la superficie y la formación no está consolidada, la presión horizontal es de 20 bares por cada 100 m de profundidad (peso del terreno dividido por 2 + 10 bares de presión hidrostática).

Sin embargo, teniendo en cuenta la pequeña sección transversal de la perforación, el efecto bóveda de los laterales protege la camisa/entubación de las presiones laterales del suelo. En la práctica, únicamente se tienen en cuenta las presiones hidrostáticas estáticas y dinámicas. Estas presiones aumentan durante la inyección de cemento, el descenso de la camisa/entubación y la reducción del nivel freático durante la explotación.

Para pozos poco profundos en terrenos rocosos, la experiencia ha demostrado que basta con considerar una presión horizontal de 0,75 bares por 10 m de sección. De esta forma, se puede instalar una camisa de resistencia de 7,5 bares en un pozo de 100 m.

Estrictamente hablando, el tamaño de las ranuras del filtro depende del tamaño de grano del acuífero (Tabla 13.XIX). Este dato no siempre se conoce antes de comenzar la perforación, pero normalmente el tamaño de ranura está entre 0,5 y 2 mm de ancho.

Durante la perforación de los primeros pozos, el tamaño de grano se puede identificar analizando los cortes de terreno por tamizado. La Tabla 13.XIX muestra el tamaño de grano para el paquete de grava y el tamaño de ranura recomendados para diferentes tamaño de grano encontrados en el terreno.

Tabla 13.XIX: Elección del tamaño de ranura del filtro y del paquete de grava según el tamaño de grano del acuífero.

Tamaño de grano del terreno del acuífero	Tamaño de grano de paquete de grava	Tamaño de la ranura
0,1 a 0,6 mm	0,7 a 1,2 mm	0,50 mm
0,2 a 0,8 mm	0,1 a 0,5 mm	0,75 mm
0,3 a 1,2 mm	1,5 a 2,0 mm	1,00 mm
0,4 a 2,0 mm	1,7 a 2,5 mm	1,50 mm
0,5 a 3,0 mm	3,0 a 4,0 mm	2,00 mm

6.1.2 COLOCACIÓN DE LA CAMISA

El riesgo de colapso puede ser elevado y, en ese caso, se debe entubar la perforación lo más rápidamente posible. El pozo no debe permanecer desprotegido, porque existe el riesgo de perderlo si las paredes se colapsan.

El plan de entubación (longitud y posición de la camisa y del filtro) se establece a partir del perfil geológico de la perforación donde se anotan los diferentes estratos y los puntos donde aparece agua.

Pueden hacerse ensayos geofísicos (resistencia eléctrica, rayos gamma, neutrones) antes de la entubación para mejorar el plan, especialmente en formaciones sedimentarias, con el uso de perforación por rotación, donde a veces resulta muy difícil identificar los horizontes de los acuíferos (ver Capítulo XI).

El filtro se coloca de modo que la parte inferior esté al mismo nivel que el fondo del acuífero o de la zona donde se produce la aportación de agua, con una altura de acuerdo a las siguientes reglas:

- Acuífero confinado: 80 a 90% del espesor del acuífero.
- Acuífero no confinado (nivel freático libre): 30 a 60% del espesor del acuífero.

El objetivo es encontrar un buen equilibrio entre un filtro lo suficientemente grande como para reducir la velocidad del agua hacia el pozo y un filtro lo suficientemente corto para poder instalar la bomba por encima y evitar el agotamiento del nivel freático por debajo del nivel de las pantallas.

La colocación de la bomba dentro de la pantalla puede dañar la tubería: la velocidad del agua erosiona las ranuras y la bomba golpea la pantalla cuando se pone en funcionamiento. También se desestabilizan a largo plazo el paquete de grava y el acuífero alrededor de la pantalla. La bomba puede dañarse también si se le introducen partículas finas de material o por problemas con la refrigeración (el agua debe llegar a la bomba para refrigerar el motor, se puede utilizar un deflector para reorientar el caudal).

El agotamiento del pozo a la altura del filtro presenta algunos riesgos, la oxigenación del acuífero puede favorecer la precipitación de metales (Fe, Mg, etc.) que pueden bloquear el filtro y causar proliferación de bacterias (ver Capítulo XV). Además, acelera la compactación del acuífero.

Estas reglas se han de aplicar estrictamente en pozos con bomba sumergida (la bomba se ha de instalar por encima del filtro o debe tener un deflector si se instala por debajo). En el caso de bombas manuales la velocidad del agua es menor y el hecho de que la bomba se sitúe dentro de la pantalla no afecta tanto a la vida útil del pozo (se deben colocar posicionadores centrales a lo largo de las tuberías para evitar que el cilindro de la bomba golpee el filtro durante el bombeo). Además:

- los últimos 0,5 m de la entubación no deben tener ranuras y llevar un tapón en el fondo (tubo de sedimentación);
- ya que no siempre la camisa/entubación llega al fondo de la perforación (cortes de material suspendidos en el lodo de perforación se quedan en el fondo cuando se suspende la circulación, o colapso de las paredes de la perforación), se hace necesario reducir la longitud de la camisa de 0,5 a 1 m en relación a la profundidad perforada (después de perforar varios pozos en la misma zona, la persona encargada debería ser capaz de estimar la pérdida de altura y realizar la adaptación);
- la parte superior de la camisa debe quedar a unos 0,5 m por encima de la superficie.

La longitud de la camisa puede variar al roscar las juntas, por lo que es aconsejable medir cada longitud.

La camisa debe pasar fácilmente por el pozo por su propio peso. Si el pozo perforado no es completamente vertical, el rozamiento entre camisa y las paredes del pozo puede bloquear la instalación. Una ligera presión en la camisa puede facilitar su descenso, si no es así será necesario re-perforar el pozo.

Un método alternativo consiste en bajar la camisa sin el tapón de fondo para que pueda rascar las paredes. En este caso es recomendable el sellado del fondo con una lechada de cemento bombeado desde la superficie una vez que la camisa se encuentre en su sitio.

Para garantizar la colocación correcta de la camisa y también del paquete de grava alrededor de la pantalla se recomienda colocar posicionadores. Existen diferentes suministradores y fabricantes de posicionadores, pero se pueden construir de forma sencilla en el terreno (Figura 13.23).

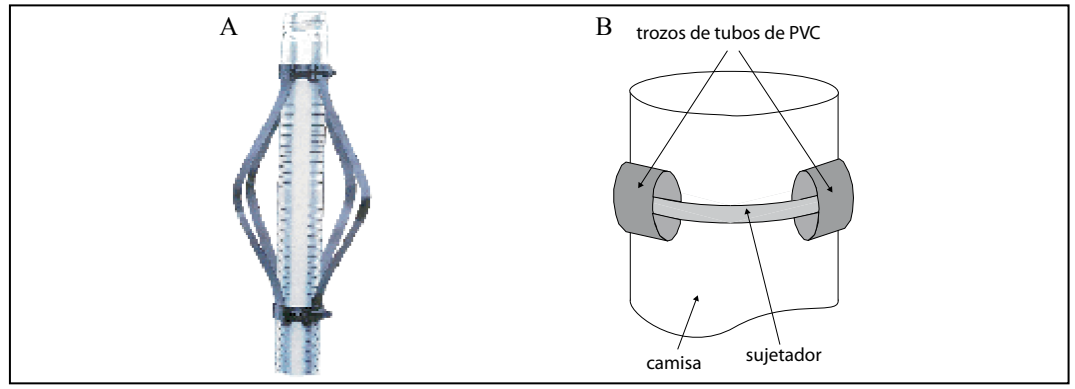


Figura 13.23 Posicionadores.
A: modelo comercial. B: en Angola, se fabricaron posicionadores uniendo pequeñas piezas de tubería de PVC alrededor de la camisa. Se colocó uno en cada sección del filtro y uno cada dos o tres secciones de camisa.

6.2 Paquete de grava y cementación

6.2.1 PAQUETE DE GRAVA

El paquete de grava permite usar un filtro con ranuras mayores, mejorando el rendimiento del pozo al reducir la velocidad del agua que entra por el filtro (reduciendo las pérdidas de carga). El paquete de grava ayuda, también, en la estabilización del acuífero.

El paquete de grava ha de estar calibrado, constituido por partículas uniformes, limpias, redondeadas y preferiblemente silíceas para garantizar una buena porosidad y una larga vida útil. No deben ser de material calcáreo, laterítico o molido. En la práctica, el tamaño de partícula del paquete de grava se determina a partir del tamaño de partícula del acuífero y del tamaño de la ranura del filtro: la grava debe ser lo más fina posible sin llegar a pasar por las ranuras (Tabla 13.XIX).

La grava se coloca descendiendo por el espacio anular que queda entre la camisa y las paredes del pozo. La utilización de un embudo (hoja de metal, hoja de plástico, tubería) facilita la introducción. Si la grava bloquea el espacio anular, una circulación de agua podría limpiarla.

La subida de lodo por la camisa indica que la grava se está situando correctamente. Cuando la grava llega al nivel del filtro el lodo ya no sube por la camisa sino a través del espacio anular. La grava debe llegar un poco por encima de la pantalla (puede ocurrir una compactación tras la colocación). En pozos poco profundos se puede comprobar el nivel con una sonda.

El volumen de grava necesario puede calcularse de forma teórica (volumen del pozo menos el volumen de la camisa) o de forma empírica (Cuadro 13.5), pero en la práctica, siempre se necesita más grava de la calculada (el agujero no es recto, existen cavidades, etc.). La Tabla 13.XX recoge algunos volúmenes aproximados de grava para distintos diámetros de pozo y camisa.

Tabla 13.XX: Volumen de grava en relación con el diámetro del pozo y de la camisa.

Diámetro del pozo	Diámetro de la camisa	Volumen de grava (l/m)	
		Volumen empírico	Volumen real aproximado
3”3/4	1”1/2	6	10,16
3”3/4	2”	5,1	9,5
5”3/4	4”	8,65	12,67
6”1/2	4”	13,3	19
6”1/2	4”1/2	11,15	15,83

Cuadro 13.5
Volumen de grava

Cálculo empírico del volumen de grava:

$$V = h \times \pi \times (D^2 - d^2) \times 0{,}16$$

donde V es el volumen de grava (l), h la altura del filtro de grava (m), D el diámetro del pozo (pulgadas) y d el diámetro de la camisa (pulgadas), $\pi = 3{,}14$. El factor 0,16 corrige la diferencia de unidades.

6.2.2 CEMENTACIÓN

La cementación es una operación fundamental cuyo objetivo es proteger el pozo de la contaminación externa; incluso en el caso de que se haya construido una plataforma alrededor de la entubación. Sólo una inyección apropiada puede evitar la filtración de agua. La inyección se puede realizar con arcilla o con una mezcla de bentonita y cemento.

Se debe colocar un tapón de arcilla en la parte superior del paquete de grava para evitar que el material de la cementación se filtre y bloquee el paquete. La bentonita sigue expandiéndose a lo largo del tiempo garantizando el sellado aunque la cementación se haya dañado.

6.2.2.1 PREPARACIÓN DE LA CEMENTACIÓN

La operación consiste en llenar el espacio anular por encima del filtro de grava con una mezcla de agua y cemento (lechada de cemento) hasta el nivel del suelo. Cuando el pozo es profundo, se puede colocar un tapón por encima del paquete de grava y otro en los últimos dos metros, el espacio intermedio se puede rellenar de arcilla (cortes del material eliminado).

La proporción es de 50 l de agua por 100 kg de cemento, lo que proporciona 75 l de lechada. Si existe bentonita disponible, se utiliza la siguiente mezcla: 70 l de agua, 4 kg de bentonita y 100 kg de cemento. Este tipo de mezcla impide que el agua se filtre más allá de la lechada pero tarda algo más en fraguar.

6.2.2.2 COLOCACIÓN DE LA LECHADA

Se utiliza el mismo procedimiento que para colocar el paquete de grava: se rellena el espacio anular hasta el nivel del terreno y se espera un mínimo de 12 horas para que fragüe antes de comenzar con la explotación y los ensayos de bombeo.

Generalmente, la inyección de la lechada se debe llevar a cabo antes de realizar los ensayos de bombeo. De todas formas, si no es posible esperar 12 horas se puede llevar a cabo después de realizar las operaciones para la explotación y los ensayos de bombeo, siempre y cuando se haya dispuesto un tapón de arcilla por encima del paquete de grava.

7 PUESTA A PUNTO

La puesta a punto de un pozo es un paso muy importante, se eliminan la mayor parte de las partículas finas que se han introducido en el pozo, así como los restos de las cementaciones debidas al lodo de perforación y ordena las partículas del acuífero alrededor del filtro aumentando así la permeabilidad.

Esta operación aumenta el rendimiento de forma considerable. El acuífero comienza su producción libre de partículas finas, con el aumento consiguiente de permeabilidad y de caudal.

Como el máximo rendimiento de un pozo en uso debería ser aproximadamente dos tercios del rendimiento obtenido al final del proceso de puesta a punto, es importante estimar el máximo rendimiento durante este proceso. Si el rendimiento durante la explotación es mayor que el máximo obtenido en el arranque existe el peligro de que se introduzcan partículas finas en el pozo y dañen la bomba.

7.1 Limpieza del pozo

En perforaciones por rotación donde se ha usado lodo, la limpieza consiste en el lavado de las paredes con agua limpia para eliminar las cementaciones. Lo mejor es diluir el lodo tanto como sea posible sin arriesgar el colapso del pozo, al final de la perforación y antes de entubar. Una vez introducida la camisa, la inyección de agua limpia desde la superficie lava minuciosamente el filtro y el paquete de grava bloqueados con lodo de perforación. Se alternan las fases de lavado y soplado de aire hasta que emerge agua limpia.

La perforación con martillo DTH no sella el acuífero. Por el contrario, el pozo se pone a punto a medida que se perfora, soplando aire secuencialmente. Sin embargo, es posible aspirar gran cantidad de arena que dañe el equipo de bombeo y provoque el colapsamiento del terreno alrededor del filtro. Por lo que habrá que proceder a la puesta a punto del pozo.

Cuadro 13.6.
Puesta a punto automática del acuífero.

Un acuífero puesto en producción por medio de un pozo perforado se pone a punto de forma automática con el bombeo.

El máximo descenso del nivel freático se produce en el pozo, y disminuye al alejarse del eje del pozo, formando un cono de depresión. El tamaño del cono depende de la naturaleza del terreno y de las características del acuífero y sus límites, así como del tiempo y el caudal de bombeo.

Se ha demostrado que la velocidad del agua disminuye con la distancia desde el pozo (de acuerdo a la ley de Darcy) y que por tanto el material alrededor del pozo se ordena por la influencia del bombeo. Las partículas más grandes se sitúan alrededor del filtro y las más finas en el límite del área afectada. A lo largo del tiempo estas partículas finas se van aproximando a la zona de la pantalla introduciéndose en ella lo que acaba deteriorando las bombas.

También se forman "puentes de arena", material fino que se acumula por el efecto del flujo. Para eliminarlos, es necesario invertir el flujo, por medio de la operación de puesta a punto, creando una aspiración seguida de una presión (Figura 13.25B).

7.2 Procesos de Puesta a Punto

7.2.1 PUESTA A PUNTO POR SOPLADO DE AIRE

Este es el proceso más efectivo y más utilizado. Su principal ventaja consiste en evitar que se dañen las bombas con arena. Con el soplado de grandes volúmenes de aire se crean fuerzas de presión grandes y una aspiración al nivel de la toma. Alternando fases de succión y soplado de aire a nivel del filtro se eliminan los puentes de arena. Esta es la forma más efectiva de eliminar estas acumulaciones de arena.

En la práctica se introducen dos tuberías en el pozo (Figura 13.24):

– una tubería de PVC o AG de 1½", denominada tubería de agua, a través de la cual vuelve el agua bombeada a la superficie;

– una tubería de polietileno de menor diámetro, montada sobre un cilindro y denominada tubería de aire, que se introduce por el interior de la tubería de agua y permite la inyección de aire comprimido. Dependiendo de su posición en el interior de la tubería de agua, bombea agua fuera del pozo, o sopla aire por el interior de la camisa.

Las fases de puesta a punto se recogen en la Tabla 13.XXI. El método consiste en soplar desde la base del pozo, en fases sucesivas, hasta por encima de la pantalla. La puesta a punto no finaliza hasta que el agua que sale no está limpia: esta operación puede durar horas, y a veces más de un día. Para verificar si el agua está limpia, debe recogerse en cubos y comprobar la existencia de material suspendido (ensayo del cubo o de manchas). Haciendo girar el agua se puede observar la existencia de partículas suspendidas en el centro del cubo. Si el círculo que se crea es mayor que una moneda el proceso de puesta a punto debe continuar.

Para pozos de pequeño diámetro (1½" o 2"), un ensayo de soplado permite confirmar la presencia o ausencia de agua.

Tabla 13.XXI: Procedimiento de puesta a punto por soplado de aire.

Bombeo	Bajar el final de la tubería de agua hasta 0,6 m del fondo del pozo. Introducir la tubería del aire por la tubería del agua, cerrar con una fijación roscada cuando el final se encuentre a 0,3 m por encima del fondo de la tubería de agua (posición de bombeo). Instalar un tubo en T a la salida de la tubería de agua para canalizar el chorro. Asegurar el sellado entre ambas tuberías con un trapo o una pieza de goma comprimida por el peso de la tubería de aire. Abrir la válvula de aire y dejar salir el agua hasta que salga limpia.
Soplado	Cerrar el aire y bajar la tubería de aire hasta unos 0,3 m por debajo del fondo de la tubería de agua, p.ej. 0,6 m más abajo que antes (posición de limpieza con aire). Abrir la válvula de aire, lo que expulsa el agua que hay en la camisa. Cerrar y abrir la válvula de aire repetidas veces.
Bombeo	Elevar la tubería de aire 0,3 m dentro de la tubería de agua: se expulsa muy turbia (invertir el flujo con la consiguiente turbulencia alrededor del filtro).
Renovación	Aclarar el agua, levantar la tubería de agua 1 m y comenzar de nuevo las operaciones (alternar bombeo y soplado) a lo largo de toda la altura del filtro. Comenzar desde la base, y continuar el proceso hasta que el agua esté totalmente clara.
Limpieza de camisa	Una vez se llega por encima del filtro, se baja todo el dispositivo hasta el fondo del pozo y se bombea la arena allí depositada.
Pozo bloqueado por arcilla o bentonita	Colocar los tubos al fondo del pozo, en posición de soplado (tubo de aire por debajo del tubo de agua). Conectar la tubería de descarga de la bomba de lodos con la tubería de agua. Bombear aire y agua limpia en el pozo a la vez que se sopla aire. El caudal creado limpia el pozo: el agua desciende por la tubería de agua y vuelve a través de la camisa.

Nota: Si la columna de agua no es lo suficientemente alta entonces la aspiración de aire no será capaz de elevar el agua, por razones físicas. Aproximadamente, el sistema funcionará de forma eficiente si BC ≥ 0,60 x AC (Figura 13.25A).

7.2.2 OTRAS TÉCNICAS DE PUESTA A PUNTO

Se pueden utilizar otras técnicas de puesta a punto, dependiendo de las características de los pozos y de los equipos disponibles. Estos métodos pueden combinarse entre ellos:

– *Sobre-bombeo*: es el método más sencillo y consiste en bombear a una mayor velocidad que la planeada para la explotación. Complementa el método de aspiración de aire y se hace necesario cuando el ritmo de extracción va a ser superior al obtenido por aspiración de aire. Este método se puede combinar con el "bombeo alternado" o "el método del pistón". No tiene ningún efecto sobre los puentes de arena si se usa por sí sólo.

– *Bombeo alternado*: el objetivo es la creación de variaciones de presión en la instalación alternando fases de bombeo y reposo. El descenso de la columna de agua dentro del tubo al parar el bombeo crea una elevación de la presión.

– *Método del pistón*: consiste en mover verticalmente un pistón por el interior de la camisa para crear de forma alterna una depresión (el agua y los finos se mueven desde el acuífero hacia la camisa) y una compresión (el agua y los finos son expulsados de la camisa) lo que permite la eliminación de los puentes de arena. Se puede vaciar el pozo con una cuchara o un achicador.

– *Lavado a presión*: consiste en la inyección de agua a presión en el interior del pozo. Puede ser un método útil y rápido especialmente para formaciones de arenisca donde las operaciones de perforación obstruyen la porosidad. Este método es barato y puede combinarse con la acción de productos químicos para la limpieza del pozo y sus alrededores (ver Capítulo XV).

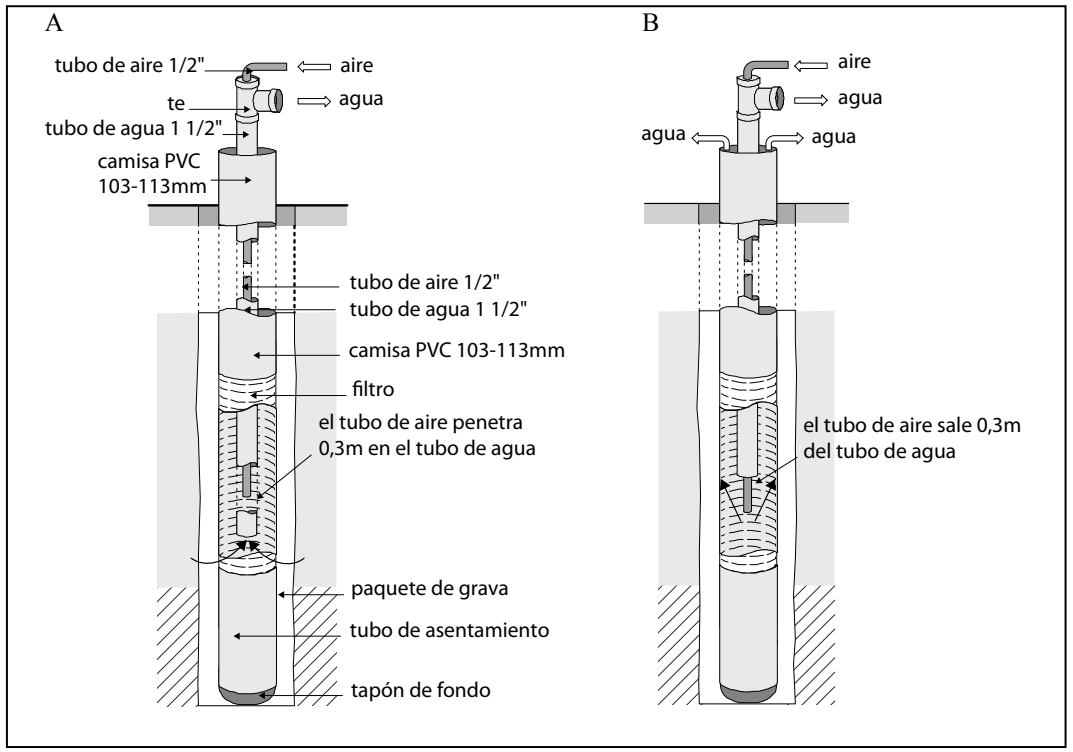


Figura 13.24: Puesta a punto por soplado de aire. A: Fase de bombeo. B: Fase de soplado.

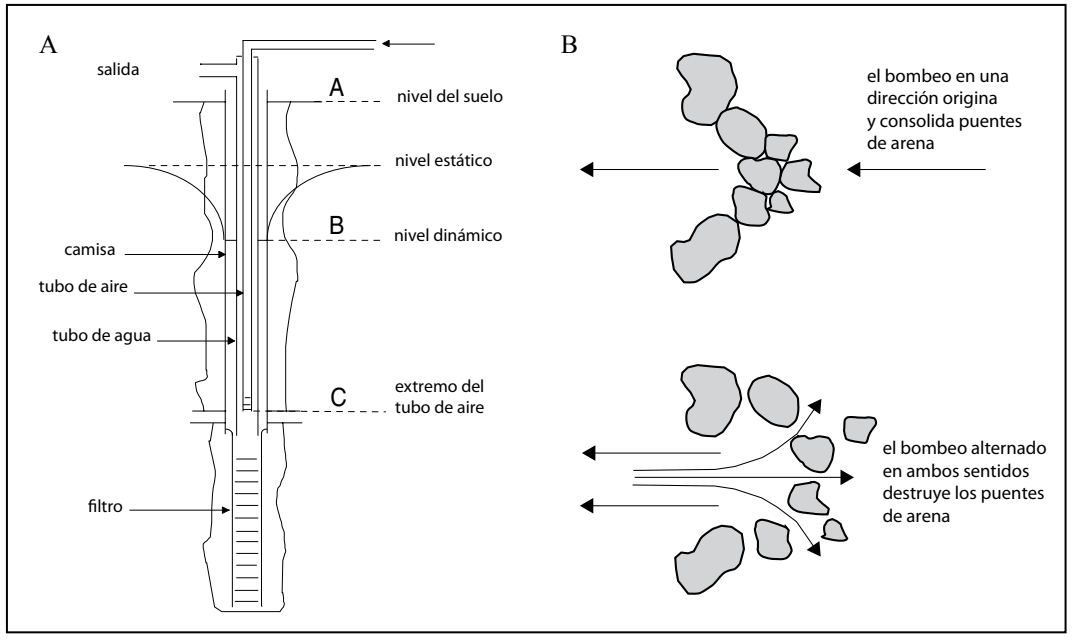


Figura 13.25: Elevación por soplado de aire. A: diseño. B: eliminación de puentes de arena.

7.2.3 BOMBEO

La realización de ensayos de bombeo, por medio de bombeos alternativos (ver Capítulo XIV) después de la puesta a punto, completa este proceso (ver Sección 7.2.2).

Nota: el rendimiento en el ensayo del bombeo ha de ser mayor que el planeado para la explotación.

7.3 Caudal instantáneo

Las características del acuífero se definen con ensayos de bombeo a largo plazo, normalmente difíciles de llevar a cabo en campo. Cuando el equipo está compuesto por bombas no motorizadas, las características del pozo se determinan a través de ensayos de bombeo por etapas, que son más sencillos de realizar en los programas que ACF lleva a cabo (ver Capítulo XIV).

Para preparar las etapas del ensayo de bombeo, se mide el caudal instantáneo y su correspondiente caída de nivel de agua al final del proceso de puesta a punto:

– el caudal se estima cuando el mecanismo empleado para el soplado de aire se encuentra en posición de bombeo (nota: el tamaño del mecanismo influye en el caudal del agua extraída por soplado);

– después se baja el nivel de agua (evitando el agotamiento del pozo), se deja pasar un período de tiempo prolongado hasta que se estabiliza el caudal;

– finalmente se miden el caudal (tiempo necesario para llenar un cubo de 20 l) y el correspondiente descenso de nivel de agua.

8 SEGUIMIENTO E INFORME DEL POZO

No es necesario que un hidrogeólogo haga el seguimiento del pozo perforado. La experiencia enseña que este trabajo puede ser llevado a cabo por un encargado con experiencia tras haber realizado un curso de formación con el hidrogeólogo responsable del programa. Posteriormente, el técnico responsable en el terreno comunicará regularmente (diariamente, por radio si fuera necesario) al hidrogeólogo la información y las decisiones tomadas durante el proceso de perforación. Los registros para el seguimiento y los informes de perforación se adjuntan en el Anexo 11.

Toda la información ha de anotarse:

– nombre del emplazamiento o población, coordenadas GPS siempre que sea posible;

– fechas de trabajo, comienzos, paradas y vueltas a empezar;

– nombre de la compañía de perforación y del perforador si es necesario;

– revoluciones de las máquinas (compresor, motor);

– técnica utilizada, progreso por tubería de perforación o metro, adición de tubos de perforación;

– incidentes importantes u operaciones significativas como la subida de la cadena de perforación, parada de maquinaria, equipamiento del pozo;

– rendimiento estimado y extracción debido a la puesta a punto;

– plan de entubación, con las longitudes exactas de camisa y filtro, sus diámetros, la posición del paquete de grava, tapones de arcilla y cemento.

También se incluye la información geológica básica, p.ej. la naturaleza del terreno, señales de agua y caudal estimado después de cada indicio de agua. Finalmente, la persona encargada mantiene al día un libro diario en el que anota todos los consumos de material (cemento, camisas, bentonita), combustible y lubricantes, mantenimiento de maquinaria, problemas mecánicos ocurridos y sus soluciones.

Cuando la construcción del pozo ha finalizado toda la información se resume en el informe, tanto si está seco como si no. El responsable de la redacción de este documento es el hidrogeólogo. Estos documentos son una fuente de información muy valiosa para el proyecto, además de proporcionar una base de datos geológicos. La información ha de centralizarse a nivel de proyecto y entregarse a las autoridades locales, quienes pueden, en ciertos casos, utilizarlas para que otras organizaciones sigan un procedimiento común en la misma zona.

Estos informes contienen toda la información técnica sobre el punto de agua: topografía de campo, datos e interpretaciones de los ensayos geofísicos de exploración, ensayos de bombeo, plan de implantación, etc.

9 TRABAJOS EN SUPERFICIE

En la Figura 13.26 se muestra un ejemplo de pozo equipado con una bomba manual. Los detalles constructivos se incluyen en el Anexo 14.

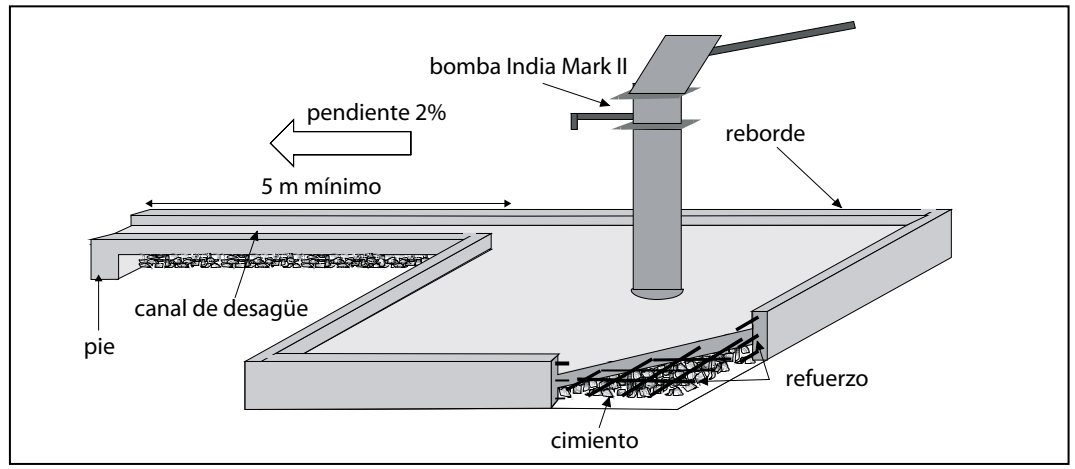


Figura 13.26: Trabajos de superficie en un pozo perforado (ACF, Kampala, Uganda, 1996).

10 EJEMPLO DE CAMPO. PLANIFICACIÓN DE UN PROGRAMA DE PERFORACIÓN

La perforación de un pozo perforado consta de una serie de actividades como: la localización del lugar para la perforación, la perforación propiamente dicha, trabajos de superficie, pruebas de aforo e instalación de la bomba.

Según sea la situación, se dedicará más o menos tiempo a la prospección de aguas subterráneas y a la localización del pozo; con lo que el porcentaje de pozos perforados positivos que se pueden dotar de una bomba es variable. El nivel óptimo de pozos positivos al que se puede aspirar es del 75% - 80% en prospecciones hasta las rocas de base.

Si se requieren rendimientos altos (más de 3 m^3/h), los estudios de prospección son más detallados y se complementan con sondeos exploratorios (ver Capítulo XI).

El tiempo necesario para la perforación de un pozo depende de varios factores, al margen de la profundidad y diámetro, tales como la técnica de perforación y el equipo de perforación utilizado, las condiciones geológicas (facilidad de extracción de los residuos, estabilidad de las paredes del pozo) y los problemas técnicos con el equipo de perforación. La experiencia enseña que se tarda una semana en promedio para completar un pozo.

El calendario de trabajo de los equipos de exploración y de trabajos de superficie depende del progreso del equipo de perforación. Del mismo modo, el calendario del equipo de perforación ha de tener en cuenta el trabajo preparatorio realizado por el equipo de educación a la higiene. Para planificar las actividades requeridas se puede usar un calendario parecido al que se indica en la Tabla 13.XXII, extrapolado para la duración del programa.

En la estación de lluvias, cuando el acceso a los lugares de perforación se ve limitado y es difícil realizar las pruebas geoeléctricas, se recomienda detener la perforación y dedicar el tiempo a la reparación y mantenimiento del equipo.

Tabla 13.XXII: Plan de perforación de un pozo perforado.

Días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Equipo 1 (exploración geofísica)													
Equipo 2 (Desarrollo y limpieza de la perforación y del equipo)													
Equipo 3 (ensayos bombeo, análisis del agua, interpretación de las pruebas)													
Equipo 4 (trabajos de superficie, instalación de la bomba)													

11 EJEMPLO DE CAMPO. RECURSOS A EMPLEAR

11.1 Recursos Humanos

Los recursos humanos requeridos se relacionan en la Tabla 13.XXIII.

Tabla 13.XXIII: Personal necesario para la perforación de un pozo.

DIRECCIÓN	
1jefe de proyecto hidrogeólogo	– localización del pozo, dirección del equipo – contactos con socios locales
1 logista	– suministros a los lugares de perforación y otros
EQUIPO DE PROSPECCIÓN	
1 técnico en geofísica 3 asistentes	– ensayos y su interpretación – preparación de los ensayos
EQUIPO DE PERFORACIÓN	
1 perforador	– dirección y dotación de la perforación del pozo (plan de entubamiento), redacción de informes
1mecánico	– mantenimiento del equipo de perforación y del compresor
4 operadores	– instalación del sitio de perforación, limpieza de la balsa, cambio de tubos, suministro de agua, dotaciones del pozo, etc.
EQUIPO PARA LOS TRABAJOS DE SUPERFICIE	
1 albañil	– dirección de trabajos, supervisión de la construcción del brocal y la losa
1 técnico en bombas	– instalación de la bomba, desinfección del pozo
3 obreros	– mezcla del cemento, armado, etc.

11.2 Costes de la Perforación

El coste de la perforación de un pozo depende de varios factores: profundidad y diámetro, tipo de maquinaria usada, precio de los consumibles, etc., así como del método usado en el cálculo de costes. Los costes de consumibles para un pozo perforado en África Oriental se relacionan en las Tablas 13.XXIV A y B, la Tabla 13.XXV indica el coste total de un pozo en el Sudeste de Asia. El coste del trabajo es claramente inferior en Asia, ya que los consumibles son más baratos, sin embargo, los métodos de cálculo son también distintos. Al hablar de costes de perforación, particularmente cuando se comparan zonas o agencias distintas, es preciso saber lo que se valora: consumibles, logística, recursos humanos, depreciación de los equipos, etc.

Tabla 13.XXIV A: Ejemplo de costes de un pozo perforado en Uganda (ACF, 1997). Profundidad 50 m, taladro rotativo de 8”1/2 y 6” martillo DTH (ACF-PAT 301).

Artículo	Cantidad	Coste unitario (USD)	Coste total (USD)
Pozo perforado			
Entubamiento PVC 103/113 mm (2,9 m)	13	12	156
Filtro PVC 103/113 mm (2,9 m)	6	18	108
Pre-entubamiento PVC 167/180 mm (2 m)	10	27	270
Tapón del fondo	1	6	6
Filtro de grava (l)	600	0,05	30
Gasóleo (l)	500	1	500
Poliglicol (kg)	150	1	150
Gasolina (l)	10	10	100
Lodo de perforación (l)	20	5	100
Aceite de perforación (l)	5	5	25
Grasa (l)	10	5	50
Brocal y losa de 2,5 x 2,5 m			
cemento (bolsas de 50 kg)	12	12	144
arena (m^3)	0,6	12	7,2
grava (m^3)	0,3	30	9
piedras (m^3)	3	15	45
malla soldada (m^2)	6	3,5	21
Lavadero de 3 x 3 m			
cemento (bolsas de 50 kg)	14	12	168
arena (m^3)	2	12	24
grava (m^3)	1	30	30
piedras (m^3)	3	15	45
malla soldada (m^2)	9	4	36
Ensayo de bombeo			
gasolina (l)	50	1	50
análisis bacteriológico del agua	20	5	100
análisis físico-químico	10	10	100
Bomba			
Bomba U2 (India Mark II)	1 000	1	1 000
Depreciación del equipo			
ACF-PAT 301	1	800	800
TOTAL			**4 074**

Tabla 13.XXIV B: Ejemplo del coste de un pozo perforado en Liberia (ACF, 2003).
Profundidad 35 m, taladro rotativo de 8”1/2 y 6” martillo DTH (ACF-PAT 301).
Duración del trabajo: 1 semana incluyendo desarrollo e instalación de la bomba.

Artículo	Cantidad	Coste unitario (USD)	Coste total (USD)
Pozo perforado			
Filtro de PVC 2 m x 125 mm con agujeros de 1 mm	3	20	60
Entubamiento PVC 125 mm x 2 m	10	15	150
Entubamiento PVC 125 mm x 1 m	2	8	16
Pre-entubamiento PVC 6m x 150 mm	3	33	99
Tapón del fondo	1	5	5
Cola de PVC (lata 500 ml)	1	30	30
Filtro de grava (50 kg)	23	1	23
Poliglicol (50 kg)	1	50	50
Combustible compresor			
Gasóleo (galones)	40	3	120
Gasolina (galones)	15	3	45
Brocal y losa			
Cemento (bolsas de 50 kg)	14	7	98
Arena (toneladas)	2	10	20
Grava (m^3)	0,3	30	9
Piedras (m^3)	3	15	45
Barras de refuerzo 3 m x 6 mm	10	2	20
Bomba			
Afridev (profundidad 15m)	1	500	500
Depreciación del equipo			
ACF-PAT 301	1	500	500
Equipo de perforación (un coordinador de perforación supervisa todas las máquinas			
Supervisor de perforación	1	70*	70
Mecánico asistente de perforación	1	40	40
Técnico perforación	3	30	90
Obreros	3	20	60
Construcción del brocal y losa			
Supervisor	1	70	70
Albañil	2	30	60
TOTAL			**2110**

Coste por pozo perforado para 1 semana de trabajo

Tabla 13.XXV: Ejemplo del coste de un pozo perforado en Camboya (ACF, 2003).
Profundidad 56 m, 6”1/2 (ACF-PAT 301).

Artículo	Coste unitario(USD)
Pozo perforado de 56 m, totalmente equipado	590
Brocal y losa	238
Bomba Afridev	390
Repuestos ACF-PAT 301	300
Depreciación del taladro ACF-PAT 301	120
Sub-total	**1 638**
Equipo de perforación	90
Equipo de trabajo en superficie	62
Equipo de educación a la higiene	180
Supervisor	48
Sub-total	**380**
Expatriado ACF	212
Sub-total	**212**
Vehículo todo-terreno	350
Alquiler de camión	50
Sub-total	**400**
Gastos administrativos 8%	**216**
TOTAL	**2 846**

12 EJEMPLO DE CAMPO. REPASO DE ALGUNOS PROGRAMAS CONCRETOS

12.1 Área Sedimentaria No-Consolidada

El programa resumido en las tablas siguientes se refiere a un área sedimentaria no consolidada (arena y arcilla) en África Central. En un entorno inaccesible como éste, se escogió un equipo de perforación rotativo con maquinaria ACF_PAT 201. El objetivo consistía en completar 40 pozos de 40 m de profundidad media utilizando dos taladros a lo largo de un período total de 12 meses:

– 1 mes para la compra y transporte del material;
– 1 mes para organizar y entrenar los equipos;
– 8 meses para la perforación;
– 2 meses para el seguimiento de los comités de agua a cargo del mantenimiento de las bombas.

La Tabla 13.XXVI muestra el presupuesto total de la operación.

Tabla 13.XXVI: Presupuesto total para un programa de perforación con ACF-PAT 201 (ACF, 1996).

Resumen	Cantidad total (USD)
1. Equipo local	65 600
2. Equipamiento	96 282
3. Logística	95 064
4. Costes administrativos	4 000
Total general	**260 946**

1. Asistencia técnica	Número (USD)	Salario (meses)	Duración (USD)	Total
Supervisor	1	800	12	9 600
Equipo perforación (2 grupos)	10	200	10	20 000
Técnico construcción/bomba (2 grupos)	6	150	12	10 800
Equipo geofísico	4	150	10	6 000
Logística	1	300	12	3 600
Trabajadores de la comunidad	5	100	12	6 000
Obreros	6	50	12	3 600
Otros	5	100	12	6 000
TOTAL	**38**			**65 600**

2. Equipamiento	Número	Coste total (USD)
Equipo de agua	1	45 400
Herramientas y consumibles	1	11 882
Equipamiento para 40 pozos	1	39 000
TOTAL		**96 282**

3. Logística	Cantidad /mes	Coste unitario (USD)	Coste total (USD)
Almacén	2	3 000	6 000
Vehículo	24	2 400	57 600
Motocicleta	3	1 938	5 814
Bicicleta	3	100	300
Combustible y mantenimiento	24	400	9 600
Transporte internacional (toneladas)	3,5	4 500	15 750
TOTAL			**95 064**

4. Costes administrativos	Duración (meses)	Coste unitario (USD)	Total (USD)
Material educativo	10	300	3 000
Costes de comunicaciones	10	100	100
TOTAL			**4 000**

La Tabla 13.XXVII muestra los costes del equipo de perforación.

Tabla 13.XXVII: Costes del equipo de perforación.

Descripción	Cantidad	Coste unitario (USD)	Total (USD)
Conjunto completo ACF-PAT201	2	10 500	21 000
Equipo ensayo de bombeo	1	3 000	3 000
Medidor nivel agua de 50 m	2	600	1 200
Equipo análisis de agua	1	1 000	1 000
Equipo análisis bacteriológico	1	3 000	3 000
Conductímetro	1	700	700
Resistímetro Ωmega+	1	5 500	5 500
Ordenador	1	2 000	2 000
Bomba motorizada & accesorios	1	3 000	3 000
Repuestos	1	5 000	5 000
TOTAL			**45 400**

La Tabla 13.XXVIII indica los costes de consumibles para 40 pozos perforados.

Tabla 13.XXVIII: Costes de consumibles para 40 pozos perforados.

Descripción	Cantidad	Coste unitario (USD)	Total (USD)
Pozo perforado			
Entubamiento 103x113 mm. (10/pozo)	400	12	4 800
– Filtro 103x113 mm (4/pozo)	160	18	2 880
– Pre-entubamiento 167x180 mm (2/pozo)	80	27	2 160
– Filtro de grava (600 l/pozo)	24 000	0,05	1 200
Gasóleo (20 l/pozo)	800	0,85	680
Gasolina (30 l/pozo)	1 200	1	1 200
Brocal y losa			
cemento (8 sacos/pozo)	320	12	3 840
arena (0,5 m^3/pozo)	20	12	240
ladrillos (500/pozo)	2 000	1	20 000
Malla soldada			
(1 /pozo)	40	20	800
piedras (2 m^3/pozo)	80	15	1 200
bomba manual	40		donación
TOTAL			**39 000**

12.2 Zona de Roca Base

Este ejemplo de programa trata de la compra de un taladro ACF-PAT 301 capaz de perforar tanto rotativamente y cómo martillo DHT en una zona de roca base en África. El proyecto era de 6 meses y había que hacer 10 pozos de una profundidad media de 50 m (Tabla 13.XXIX a Tabla 13.XXXII).

Tabla 13.XXIX: Presupuesto total para un programa de perforación con ACF- PAT 301.

Resumen	Cantidad total (USD)
1. Equipo local	11 100
2. Equipamiento	106 306
3. Logística	83 521
4. Costes administrativos	2400
Gran total	**203 327**

1. EQUIPO LOCAL	Número (USD)	Salario (meses)	Duración (USD)	Total
Supervisor	1	300	6	1 800
Perforador	1	50	6	300
Asistente perforador	5	30	6	900
Albañil	1	40	6	240
Asistente albañil	4	30	6	720
Técnico geofísico	3	30	6	540
Conductor	3	200	6	3 600
Obreros	5	50	6	1 500
Otros	5	50	6	1 500
TOTAL	**23**			**11 100**

2. Equipamiento	Cantidad	Coste total (USD)
Torre de perforación y equipo	1	88 050
Herramientas y consumibles	1	7 391
Equipamiento para 10 pozos	1	10 865
TOTAL		**106 306**

3. Logística	Cantidad /mes	Coste unitario (USD)	Total (USD)
Vehículo todo terreno	1		30000
Camión de perforación	16		15000
Mantenimiento y combustible (mes)	6	778,5	4671
Mantenimiento y combustible vehículo	2	1100	6600
Transporte por carretera (mes)	4,5	3500	7000
Transporte internacional (toneladas)		4500	20250
TOTAL			**83521**

4. Costes administrativos	Duración (meses)	Coste unitario (USD)	Total (USD)
Papelería	6	200	1 200
Costes de comunicaciones	6	200	1 200
TOTAL			**2 400**

Tabla 13.XXX: Costes de equipamiento.

	Cantidad	Coste unitario (USD)	Total (USD)
Equipo completo ACF-PAT 301 RT	1	26 000	26 000
Compresor Atlas Copco XAHS 175	1	40 000	40 000
Herramientas taladro rotativo	1	1 900	1 900
Cabezal tres hojas 8”1/2 (216 mm)	2		
Cabezal tres hojas 6”1/2 (165 mm)	2		
Cabezal tres hojas 3”7/8 (99 mm)	2		
Adaptador F 2”3/8 PAI REG x F 2”3/8 API REG	2		
Adaptador F 2”3/8 API REG x F 3”1/2 Herramientas martillo DTH	2 1	 6 800	 6 800
Martillo Stenuick Challenger 4	1		
Broca taladro 150-mm	4		
Broca taladro 105-mm	2		
Llave inglesa para brocas de 150 & 105-mm	1		
Equipo para pruebas de aforo	1	2 500	2 500
Resistímetro	1	5 000	5 000
Medidor del nivel de agua hasta 50 m	1	1 000	1 000
Equipo para análisis de agua	1	500	500
hierro (ref. 11136C)	1	150	150
manganeso (ref. 14768)	1	200	200
Ordenador e impresora para los informes y seguimiento de la perforación	1	3 000	3 000
GPS	1	1 000	1 000
TOTAL			**88 050**

Tabla 13.XXXI: Coste de los consumibles en una perforación.

Artículo	Cantidad	Coste unitario (USD)	Total (USD)
Pozo perforado			
Entubamiento 103x113 mm (10/pozo)	100	12	1 200
Filtro 103x113 mm (6/pozo)	60	18	1 080
Pre-entubamiento 167x180 mm (4/pozo)	40	27	1 080
Tapón	10	5	50
grava para filtro (600 l/pozo)	6 000	0,05	300
gasóleo (500 l/pozo)	5 000	0,85	4 250
gasolina (150 l/pozo)	1 500	1	1 500
Lavadero			
cemento (11 sacos/lavadero)	55	12	660
arena (1 m^3/lavadero)	5	12	60
grava (2 m^3/lavadero)	10	30	300
malla soldada (1.5 láminas/lavadero)	8	20	160
piedras (3 m^3/lavadero)	15	15	225
TOTAL			**10 865**

Tabla 13.XXXII: Costes de las herramientas y otros consumibles.

Artículo	Cantidad	Coste unitario (USD)	Total (USD)
Tanque de agua	1	1 500	1 500
Molde metálico para el forjado	1	1 000	1 000
Caja de herramientas	1	1 200	1 200
Cortafríos para barras de refuerzo	1	480	480
Cinta de medir (100 m)	4	30	120
Pico	10	3	30
Pala	10	3	30
Azada	10	3	30
Nivel de burbuja	2	30	60
Cinta de medir (5 m)	10	6	60
Cubo	10	5	50
Carretilla	2	20	40
Sierra	2	10	20
Martillo	5	5	25
Mazo (5 kg)	2	8	16
Aceite hidráulico (l)	50	3	150
Aceite perforación (Azolla) (l)	50	5	250
Lubricante (l)	50	2,5	125
Grasa (kg)	30	5	150
Poliglicol (kg)	50	10	500
Barro de perforación (l)	100	3	300
Tubo roscado de PVC 2” (3 m)	20	15	300
Tubo roscado de PVC 2” (1 m)	3	15	45
Codo roscado de PVC 2”	2	10	20
Botas de goma	15	10	150
Guantes	20	8	160
Impermeables	10	30	300
TOTAL			**7 391**

CAPÍTULO XIV

Aguas subterráneas. Ensayos de bombeo

1	**Ensayo del acuífero**	368	*2.2.2*	*Cálculo para las correcciones de los descensos de nivel*	385
1.1	Gráficos de diagnóstico	368	*2.2.3*	*Estimación gráfica de los descensos de nivel corregidos*	387
1.1.1	*Categorías de acuíferos*	368	*2.2.4*	*Validación de datos e interpretación*	388
1.1.2	*Condiciones en los límites*	369	**3**	**Procedimiento del ensayo de bombeo**	389
1.1.3	*Validación de datos*	370	3.1	Diseño del ensayo	389
1.2	Elección del modelo	371	*3.1.1*	*Aspiración máxima y caudal de bombeo*	389
1.3	Método de Jacob	371	*3.1.2*	*Ensayo del pozo: número y duración de los ensayos*	389
1.3.1	*Aproximación logarítmica*	372	*3.1.3*	*Ensayo del acuífero: duración del bombeo*	390
1.3.2	*Estimación de los parámetros hidráulicos*	373	*3.1.4*	*Número y posición de los piezómetros*	391
1.3.3	*Principio de superposición*	373	3.2	Puesta en práctica del ensayo	392
1.4	Método de recuperación Theis	374	*3.2.1*	*Verificación del lugar*	392
2	**Ensayo de pozos**	375	*3.2.2*	*Equipo necesario*	392
2.1	Etapas independientes	375	*3.2.3*	*Equipo humano*	393
2.1.1	*Método estándar*	375	*3.2.4*	*Seguimiento del ensayo*	393
2.1.2	*Validación de datos e interpretación*	376	3.3	Informes	393
2.1.3	*Ejemplos*	381			
2.2	Etapas consecutivas	384			
2.2.1	*Método simplificado*	384			

Una vez terminada la construcción de un pozo perforado o excavado, es fundamental verificar si el caudal de explotacion sostenible cubre las necesidades de la población. Antes de iniciar la explotación del pozo, hay una serie de preguntas que es preciso contestar: ¿cuánta agua se puede bombear?, ¿a qué intervalos?, ¿con qué tipo de bomba? y ¿a qué profundidad? Un ensayo de bombeo bien realizado contesta generalmente estas preguntas.

Así mismo, la observación de los efectos del bombeo es uno de los mejores métodos de investigación en hidrología. La comprobacion de los resultados obtenidos en el ensayo de bombeo permite obtener un mejor conocimiento del acuífero y una definición más precisa del objetivo de las actividades.

Existen dos tipos de ensayos, orientados cada uno a la obtención de objetivos distintos:

– *Ensayo del acuífero* (también conocido como ensayo a descarga constante), estima los parámetros hidráulicos del acuífero. La información obtenida es normalmente la transmisividad del acuífero (usado para calcular la conductividad hidráulica), la capacidad de almacenamiento (el coeficiente de almacenamiento si el acuífero está confinado, o el rendimiento específico si no lo está), el radio de influencia del bombeo y las condiciones en los límites.

Este ensayo requiere un bombeo constante y el seguimiento del nivel de agua en uno o varios pozos de observacion durante varios días. Su realización es difícil y relativamente cara. En el contexto de programas humanitarios, sólo se justifica en casos de pozos perforados de caudales elevados, o en investigaciones para determinar las características hidrodinámicas de la zona.

– *Ensayo del pozo* (también conocido como ensayo por intervalos o ensayo escalonado de extracción), evalúa las características del pozo y su entorno inmediato. A diferencia de la comprobación del acuífero, no está diseñado para obtener información fiable del mismo, aunque es posible estimar la transmisividad de las zonas cercanas a la captación. Este ensayo determina el caudal crítico del pozo, así como las pérdidas de carga y el descenso del nivel de agua en función del ritmo de bombeo y del tiempo. Finalmente, está diseñado para estimar la eficacia del pozo, para fijar el ritmo de bombeo y especificar la profundidad a la que se debe instalar la bomba.

Este tipo de ensayo es especialmente útil para saber si el pozo cubrirá las necesidades de la población. Ayuda además, a especificar los límites de explotación del pozo y obtener datos relevantes si estamos considerando la rehabilitación de un pozo o la utilización de nuevos métodos de extracción (por ejemplo, la sustitución de una bomba manual por una electrobomba sumergible).

Cualquiera que sea el método de ensayo utilizado, los datos básicos de campo que obtenemos son el rango de bombeo, la profundidad del nivel freático y el tiempo (duración). Es preciso verificar estos datos antes de realizar una interpretación de los mismos. Dicha interpretación consiste en la comparación de los datos de campo con los datos teóricos obtenidos de las ecuaciones de caudal.

1 ENSAYO DEL ACUÍFERO

El ensayo del acuífero se utiliza para determinar las características hidráulicas y a veces las condiciones de los límites:

– transmisividad;

– capacidad de almacenamiento, o sea el rendimiento específico para un acuífero no confinado, el coeficiente de almacenamiento para un acuífero confinado o el desagüe específico para un acuífero confinado que se vuelve no confinado a causa de la extracción de agua;

– condiciones en los extremos tales como la recarga desde los extremos desde la barrera;

– heterogeneidad y anisotropía de las reservas de agua.

Un ensayo del acuífero implica bombear agua de un pozo a caudal constante y medir el descenso de nivel del agua en el mismo pozo y en *piezómetros* (pozos de observación) situados a distancias conocidas. Para interpretar las medidas de campo se deben introducir los datos observados en una ecuación pozo-caudal adecuada con el objeto de calcular las características hidráulicas del acuífero.

Existe un gran abanico de métodos y ecuaciones a usar según el tipo de acuífero, las condiciones del terreno y el procedimiento usado para el ensayo. Se puede elegir el método más adecuado con el apoyo de gráficos de diagnóstico.

1.1 Gráficos de Diagnóstico

Los modelos teóricos que se utilizan para interpretar los datos de campo tienen en cuenta el tipo de acuífero, las condiciones del pozo y las de los límites. Estos parámetros afectan el comportamiento del descenso de nivel del agua en el sistema de forma característica para cada uno de ellos, por lo que para identificar el sistema de un acuífero, uno debe comparar el comportamiento del descenso del nivel de agua con el de diferentes modelos. El modelo que más se ajuste a los datos obtenidos es el que debemos aplicar para calcular las características hidráulicas del acuífero.

El sistema de identificación incluye la realización de gráficos de diagnóstico (logarítmicos y semi-logarítmicos), mientras que la interpretación de los datos incluye la realización de diagramas especializados semi-logarítmicos. Los diagramas de diagnóstico representan el descenso del nivel de agua con el tiempo (o con la distancia); ayudan a identificar el régimen de flujo y su forma nos lleva a seleccionar el modelo adecuado de interpretación. Se recomienda, por tanto, dibujar los gráficos de diagnóstico antes de elegir un método de interpretación.

1.1.1 CATEGORÍAS DE ACUÍFEROS

En los análisis de los ensayos de bombeo el acuífero se puede clasificar de la siguiente manera: poroso o fisurado, por un lado; y confinado, no confinado (libre) o semi-confinado (con fugas), por otro. En la figura 14.1 se muestran los diagramas de diagnóstico de las principales categorías de acuíferos no consolidados.

El gráfico 14.1A representa un acuífero isotrópico, homogéneo, confinado y no consolidado. Representa la curva ideal que sirve de referencia para entender las demás. Observando el gráfico semi-logarítmico, se puede ver que la relación tiempo/aspiración se hace lineal. Esta linealidad se utiliza para calcular las características hidráulicas de forma precisa (ver método de Jacob).

El gráfico 14.1B muestra los gráficos de diagnóstico obtenidos en un acuífero no confinado isotrópico y homogéneo. Inicialmente y generalmente en los primeros minutos de bombeo, la curva es igual a la de un acuífero confinado porque la salida de agua viene controlada por el coeficiente de almacenamiento. El tramo plano a medio camino de la curva corresponde al efecto de rendimiento retrasado característico en los acuíferos no confinados: esto refleja la recarga por parte de las capas horizontales superiores con un efecto de retraso en el rendimiento con respecto al coeficiente de almacenamiento. En el tramo final la curva se asemeja a la del gráfico 14.1A cuando el caudal es de nuevo básicamente horizontal.

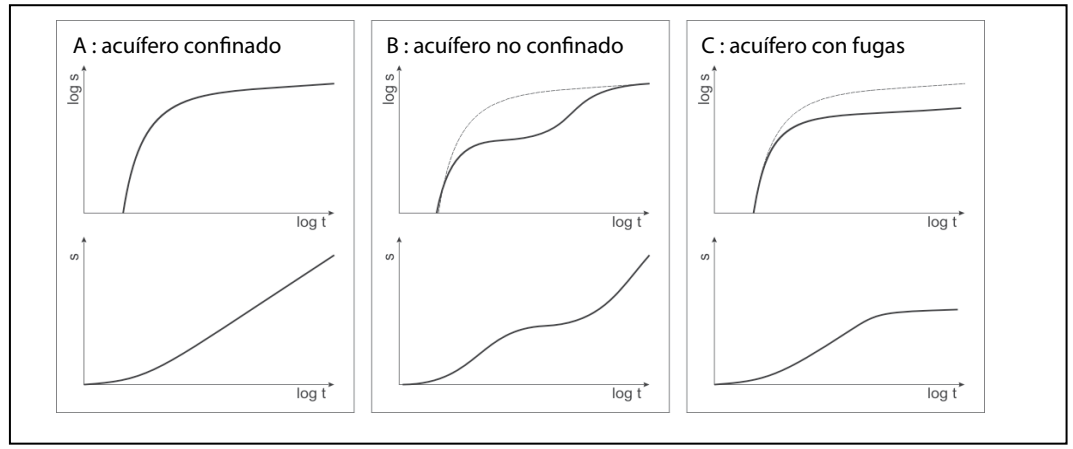


Figura 14.1: Gráficos teóricos de diagnóstico de acuíferos que muestran el descenso del nivel del agua (s) con el tiempo (t). Las curvas de puntos corresponden al "acuífero confinado ideal" como el representado en el gráfico A (Kruseman y de Ridder, 2000).

Este comportamiento del descenso del nivel es también debido a un sistema de doble porosidad. Inicialmente, el caudal se obtiene del agua almacenada en las fisuras hasta que el agua que se encuentra en cuerpo del acuífero comienza a alimentar estas fisuras.

El gráfico 14.1C muestra un acuífero fracturado. Después de la etapa inicial, que es similar a la de un acuífero confinado, se produce más y más agua por el acuitardo, lo que reduce el desarrollo del descenso de nivel.

1.1.2 CONDICIONES EN LOS LÍMITES

Cuando las curvas obtenidas con los datos de campo se desvían de las teóricas se debe normalmente a condiciones específicas de los límites del acuífero (Figura 14.2).

El gráfico 14.2A muestra el efecto de un pozo perforado que no penetra todo el acuífero. En este caso, las condiciones de la recarga horizontal en las proximidades del pozo no son aplicables por lo que la recarga vertical introduce pérdidas de carga adicionales.

El efecto de la capacidad del pozo medido en un piezómetro (pozo de observación) se muestra en el gráfico 14.2B. Este corresponde a la diferencia entre la bajada de nivel debida al bombeo en un pozo ideal de diámetro despreciable, y la extracción en un pozo real que contiene un volumen de agua no despreciable. Al iniciar el bombeo, el efecto de la capacidad del pozo produce un retraso en la demanda en el acuífero, ya que el agua que se extrae primero es aquella que está almacenada en el propio pozo. El efecto de almacenamiento hace que exista un retraso en la bajada de nivel en un piezómetro al comenzar el bombeo. Por otra parte, el efecto de almacenamiento puede hacer que parezca exagerado el descenso de nivel al inicio del bombeo si se mide directamente en el pozo bombeado. Su duración depende de las dimensiones del pozo y de la transmisividad del acuífero (ver Sección 3).

Cuando el cono de la depresión llega al límite de una capa hidráulica, la curva real se desvía de la teórica dependiendo del tipo de límite. Si existe recarga en el límite, como por ejemplo en un río, el nivel se estabilizará (gráfica 14.2C); para un límite impermeable, como por ejemplo una presa, la pendiente del descenso de nivel en el gráfico semi-logarítmico será el doble (gráfico 14.2D).

La heterogeneidad y la anisotropía de los acuíferos influyen en la evolución de la bajada del nivel a medida que el cono de la depresión alcanza zonas con diferentes características hidráulicas. Los efectos pueden dirigirse en dos direcciones: o bien la extracción baja si las nuevas propiedades hidráulicas son mayores, o aumenta si las propiedades hidráulicas son menores.

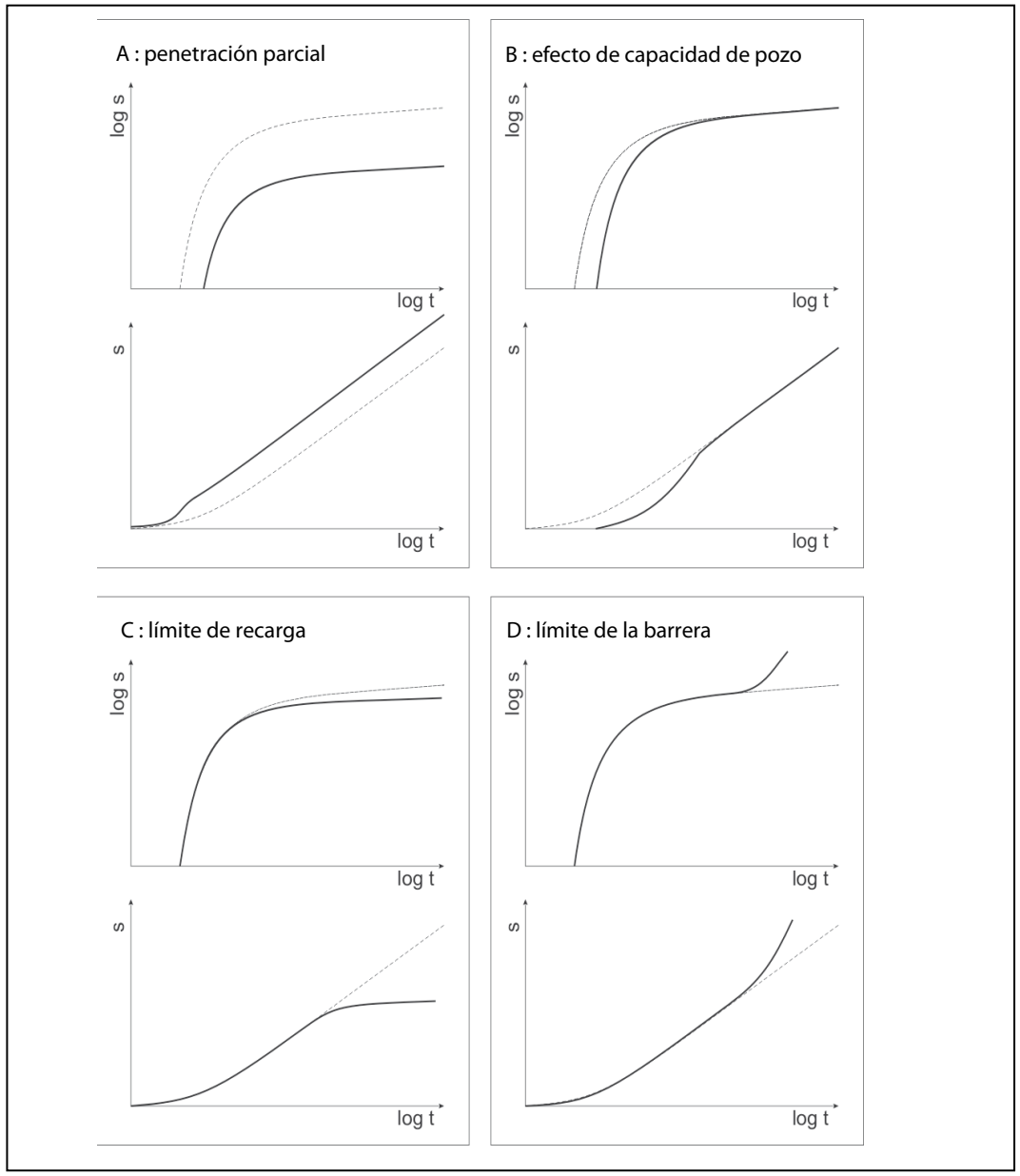


Figura 14.2: Gráficos teóricos de diagnóstico de las condiciones en los límites que muestran el descenso de nivel (s) con el tiempo (t). La curva de puntos muestra el "acuífero confinado ideal" de la Figura 14.1ª (Kruseman y de Ridder, 2000).

1.1.3 VALIDACIÓN DE DATOS

Antes interpretar los datos de campo, hay que verificar si las medidas se han visto afectadas por cambios externos ajenos al propio ensayo de bombeo, o si alguno de los datos es claramente erróneo.

La observación de los gráficos de diagnóstico s = f(t) junto con el de Q = f(t) es el mejor método para la verificación de los datos. Los efectos externos más probables son las variaciones barométricas, efectos de la marea, bombeo de otros pozos y recargas a corto plazo por la lluvia. Todos ellos afectan el nivel del agua e invalidan los análisis sencillos. Los efectos externos deben evitarse y si ello no es posible (p.ej. mareas) los niveles de agua medidos deben corregirse.

1.2 Elección del modelo

El método de interpretación adecuado se selecciona según el tipo de sistema y las condiciones limítrofes encontradas previamente, o indicadas en los gráficos de diagnóstico (Tabla 14.I).

Tabla 14.I: Algunos de los principales métodos usados en la interpretación de los ensayos de los acuíferos no consolidados.

Flujo	Tipo de acuífero	Condiciones en el límite	Principales métodos
Estacionario	Confinado	–	Thiem
No estacionario	Confinado	–	Theis
		Pozo parcialmente penetrante	Theis modificado por Hantush
		Pozo de gran diámetro	Papadopoulos
	No confinado	–	Neuman
			Jacob con restricciones
		Pozo parcialmente penetrante	Neuman
		Pozo de gran diámetro	Boulton-Streslova
	Fisurado	–	Walton
		–	Hantush
Recuperación	Confinado	–	Recuperación Theis
	No confinado	–	Recuperación Theis
	Fisurado	–	Recuperación Theis

A menudo resulta útil probar varios métodos con los mismos datos para tener una impresión del contexto. A estos efectos es interesante utilizar un software como el AquiferTest Pro para ahorrar tiempo (http://www.flowpath.com). ACF recomienda este programa porque es sencillo de utilizar y proporciona varios métodos de interpretación incluyendo modelos tanto para ensayos de pozos como de acuíferos. Permite la verificación de varias soluciones interpretadas con el mismo conjunto de datos, y además ofrece la posibilidad de hacer ajustes de forma automática, si bien el usuario siempre puede hacerlo de forma manual.

De todos modos, la interpretación manual a base de dibujar las curvas y adaptarlas a nomogramas siempre es un proceso sencillo y eficiente.

Los métodos se describen en las principales referencias citadas en este capítulo y su explicación detallada está fuera del ámbito de este libro. Los únicos métodos que aquí se incluyen son el de Jacob y el método Theis de recuperación, ya que se pueden utilizar en diversos contextos con algunas precauciones.

1.3 Método de Jacob

Este método de interpretación del ensayo de bombeo es sencillo de utilizar por lo que su uso es frecuente. No son necesarias curvas tipo específicas y los únicos gráficos específicos que se necesitan son los gráficos semi-logarítmicos que ya habrán sido dibujados para el diagnóstico. Sin embargo, deben darse las condiciones siguientes, inherentes al método, con el objeto de obtener resultados realistas en las interpretaciones:

– Acuífero confinado. El método sólo puede usarse estrictamente si el acuífero es confinado, pero si no lo es, el método Jacob puede seguir utilizándose siempre que se cumpla alguna de las condiciones siguientes:

- el descenso máximo del nivel es despreciable comparado con el espesor de las capas saturadas;

• los descensos de nivel medidos se corrigen con la fórmula adecuada antes de utilizarse en la fórmula de Jacob. La fórmula para la corrección es: $s_c = s - (s^2/2 \cdot D)$ donde s_c es el descenso de nivel corregido, s es el descenso de nivel medido y D es el espesor de la zona saturada original (Kruseman y de Ridder, 2000).

– El acuífero es homogéneo, isotrópico, de espesor uniforme a lo largo de toda el área afectada por el bombeo y de una extensión infinita. Estas condiciones ideales raramente se encuentran en la práctica, pero los gráficos de diagnóstico pueden mostrar si esta suposición es razonable.

– La superficie piezométrica antes del bombeo es casi horizontal.

– La liberación del agua en los poros es instantánea.

– El pozo es perfecto, penetra por la totalidad del espesor del acuífero y su radio es suficientemente pequeño como para no modificar el efecto de almacenamiento del pozo. Los gráficos de diagnóstico pueden mostrar si esta hipótesis es razonable.

– El caudal de bombeo es constante.

– El caudal no es uniforme.

– El tiempo de bombeo es suficientemente largo. Esta condición debe ser comprobada (ver el siguiente apartado).

Todas estas condiciones son difíciles de encontrar en el campo. Por ello, se debe tener cuidado en la aplicación de este método y la interpretación de los gráficos de diagnóstico se debe hacer con sentido común.

1.3.1 APROXIMACIÓN LOGARÍTMICA

En condiciones de caudal variable (cuando el caudal es variable en el tiempo y el nivel de agua no se estabiliza), el descenso de nivel en cualquier punto del acuífero se obtiene con la ecuación de Theis o de estado no uniforme:

$$s = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \cdot W(u)$$

donde $u = r^2 \cdot S / 4 \cdot T \cdot t$, W(u) es una función conocida y tabulada (tabla, ábaco), s es el descenso de nivel medido en un piezómetro (pozo de observación) a una distancia r del pozo bombeado (m), Q es el caudal bombeado (m^3/h), T es la transmisividad (m^2/h), t el tiempo de bombeo (h), S el coeficiente de almacenamiento, y r la distancia de un punto dado al eje del pozo bombeado (m).

Cuando t es suficientemente grande, se puede aplicar una aproximación logarítmica a la ecuación de Theis conocida como la aproximación de Jacob:

$$s = \frac{0{,}183 \cdot Q}{T} \cdot \log\left(\frac{2{,}25 \cdot T \cdot t}{r^2 \cdot S}\right)$$

La aproximación de Jacob es satisfactoria con un 5% de margen de error cuando

$$t > \frac{10 \cdot r^2 \cdot S}{4 \cdot T}$$

Esta condición se puede verificar fácilmente en el contexto del ensayo del acuífero. Con el ensayo del pozo el coeficiente de almacenamiento no es conocido y se puede utilizar la aproximación de Jacob cuando la relación tiempo/aspiración en el gráfico semi-logarítmico es lineal. Hay que tener en cuenta que la invalidación de la aproximación de Jacob debido a que el tiempo de bombeo no es suficientemente largo no debe confundirse con el efecto de capacidad del pozo.

1.3.2 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS

De acuerdo con la aproximación logarítmica de Jacob, si Q, T y S son constantes con respecto a las hipótesis iniciales, la representación de la extracción respecto al logaritmo del tiempo forma una línea recta (tan pronto como se cumpla la condición del tiempo). La pendiente de esta línea es:

$$C = \frac{0{,}183 \cdot Q}{T} \leftrightarrow T = \frac{0{,}183 \cdot Q}{C}$$

Si se prolonga la línea hasta que corte el eje del tiempo donde s = 0, obtenemos un valor de t llamado t_0. Sustituyendo el valor en la aproximación logarítmica de Jacob tenemos:

$$0 = \frac{0{,}183 \cdot Q}{T} \cdot \log\left(\frac{2{,}25 \cdot T \cdot t_0}{r^2 \cdot S}\right)$$

$$\rightarrow \frac{2{,}25 \cdot T \cdot t_0}{r^2 \cdot S} = 1$$

$$\rightarrow S = \frac{2{,}25 \cdot T \cdot t_0}{r^2}$$

La figura 14.3 ilustra el uso del método de Jacob en un pozo perforado en una formación granítica disgregada. El pozo 203 es el pozo de bombeo y el pozo 204 es el pozo de observación situado a una distancia de 84 metros. El ensayo se realizó con un caudal de descarga constante de 6 m^3/h. La pendiente C de la línea recta de Jacob se calcula con los datos obtenidos en el pozo de observación: cuando se dibujan en el mismo gráfico de los datos del pozo de bombeo se confirma el desarrollo similar de ambas extracciones. Usando el valor de C y de t_0, del gráfico las características hidráulicas del acuífero son $T=5{,}8 \cdot 10^{-4}$ m²/s y $S=1{,}6 \cdot 10^{-4}$.

Con el cálculo de Jacob se obtiene

$$t > \frac{10 \cdot r^2 \cdot S}{4 \cdot t} \rightarrow t > 1{,}3 \text{ horas}$$

lo que confirma la validez de la interpretación que considera el punto de toma de datos después de pasados 80 minutos.

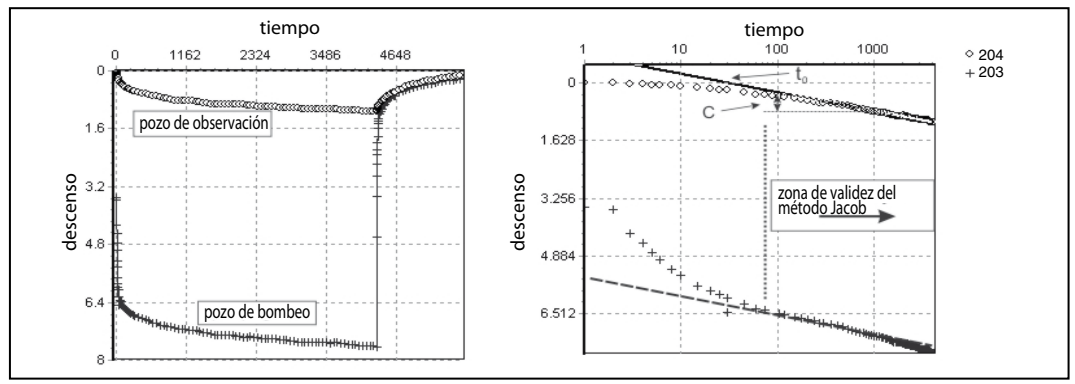


Figura 14.3: Interpretación del ensayo del acuífero usando el método Jacob.

1.3.3 PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN

Asumiendo que se bombea un caudal Q durante un tiempo t, seguido de una pausa de duración t', la superposición del principio del caudal es tal que después de la parada del bombeo, es como si el bombeo tuviera que continuar con un caudal Q que reduciría el nivel de forma que

$$s = \frac{0{,}183 \cdot Q}{T} \cdot \log\left(\frac{2{,}25 \cdot T \cdot t}{r^2 \cdot S}\right)$$

pero al mismo tiempo, el pozo se recarga con un caudal Q que elevaría los niveles de forma que

$$s' = \frac{0{,}183 \cdot Q}{T} \cdot \log\left(\frac{2{,}25 \cdot T \cdot t'}{r^2 \cdot S}\right)$$

Para bombeos escalonados de caudales n se obtienen los resultados recogidos en la Tabla 14.II, en los que t_i es el tiempo transcurrido desde el comienzo del bombeo Q_i, y t' el tiempo transcurrido después de que el caudal Q_i haya parado. Se asume que las pérdidas de carga son despreciables.

Tabla 14.II: Ecuaciones para el descenso del nivel del agua.

Etapa	Caudal	Duración	Ecuación de la aspiración teórica al final del intervalo
Bombeo 1	$+ Q_1$	t_1	$s_1 = [(0{,}183Q_1]/T) \log [(2{,}25\ Tt_1)/(r^2S)]$
Recuperación 1	$- Q^1$	t'_1	$s'_1=[(0{,}183Q_1)/T]\log[(2.25Tt_1)/(r^2S)]-(0{,}183Q_1)/T]\log(2{,}25Tt'_1)/r^2S$ $s'_1 = (0{,}183Q_1/T) \log (t_1/t'_1)$
Bombeo 2			$s_2 = [(0{,}183Q_1)/T] \log (t_1/t'_1) + [(0{,}183Q_2)/T] \log [(2{,}25Tt_2)/(r^2S)]$
Recuperación 2			$s'_2 = [(0{,}183Q_1)/T] \log (t_1/t'_1) + [(0{,}183Q_2)/T] \log (t_2/t'_2)$
Bombeo i	$+Q_i$		$t_i\ s_i = \sum_{i-1}^{1} [(0{,}183Q_i)/T] \log (t_i/t'_i) + [(0{,}183Qi)/T] \log [(2{,}25Tt_i(/(r^2s)]$

1.4 Método de recuperación Theis

La transmisividad del acuífero puede calcularse interpretando la curva de recuperación tras el cese del bombeo. Permite una verificación importante del cálculo de la transmisividad por el método de Jacob y la estimación de la transmisividad cuando no hay pozos de observación o piezómetros. De hecho, con la utilización de los ensayos en pozos la exactitud en la estimación de la transmisividad mientras se bombea (método de Jacob) no es tan buena debido a las variaciones del caudal y por las pérdidas de carga de segundo orden en el pozo de bombeo (ver información sobre ensayos en pozos en la Sección 2).

El análisis de un ensayo de recuperación se basa en el principio de superposición: después de parar la bomba, el pozo continúa siendo bombeado al mismo ritmo de descarga mientras que se realiza una recarga imaginaria e igual en el pozo. La recarga y la descarga se anulan la una a la otra.

Las condiciones del método son las mismas que en el método de Jacob. De acuerdo con la aproximación de Jacob y el principio de superposición, la ecuación para el descenso de nivel residual después de que pare el bombeo es:

$$s_r = \frac{0{,}183 \cdot Q_i}{T} \cdot \log\left(\frac{t_i}{t'_i}\right)$$

donde s_r es el descenso de nivel residual (m), Q_i el caudal en el último bombeo i (m^3/h), T la transmisividad (m^2/h), t_i el tiempo transcurrido desde el comienzo del bombeo i (h), y t'_i el tiempo transcurrido desde el final del bombeo i (h).

Los pares de puntos obtenidos (s_r, t/t'), dibujados en un gráfico semi-logarítmico, se alinean cuando se alcanza el régimen de Jacob. La pendiente de la línea es $C = 0{,}183 \cdot Q / T$.

La Figura 14.4 recoge el procedimiento de la recuperación de Theis. La transmisividad obtenida es $3{,}9 \cdot 10^{-4}$ m²/s para el pozo de observación (204) y $4{,}2 \cdot 10^{-4}$ m²/s para el pozo de bombeo (203). Estos valores se aproximan a los obtenidos con el método de Jacob ($5{,}8 \cdot 10^{-4}$m²/s), y la transmisividad del acuífero elegida es la media p.ej. $4{,}6 \cdot 10^{-4}$ m²/s.

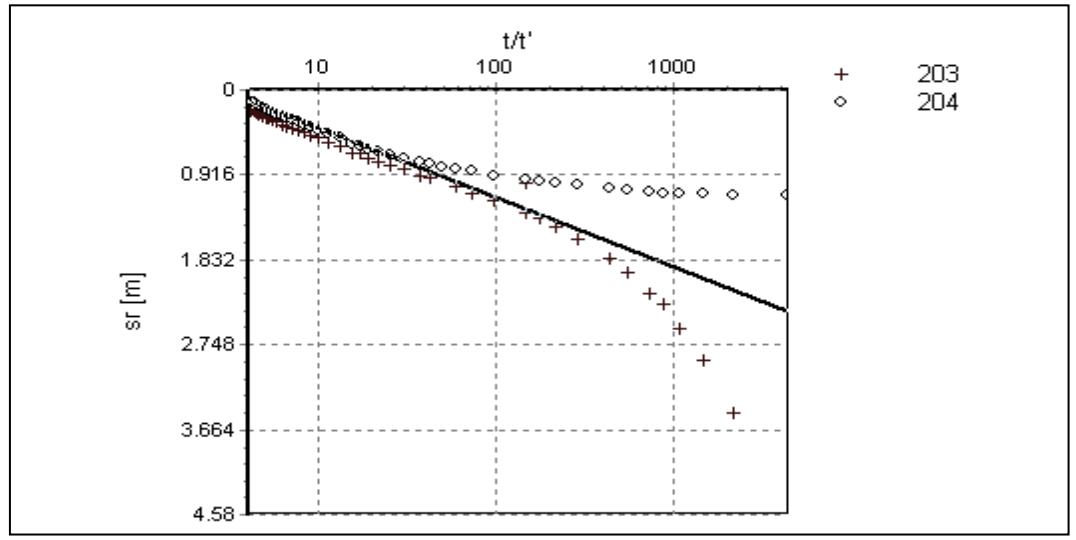


Figura 14.4: Interpretación del ensayo del acuífero usando el método de recuperación de Theis, pozo perforado 204.

2 ENSAYO DE POZOS

El ensayo de un pozo determina sus condiciones de explotación:

– rendimiento de funcionamiento y esquema de bombeo;

– profundidad de instalación de la bomba;

– profundidad de la conexión pozo excavado-pozo perforado cuando se planea un pozo combinado (ver Capítulo XVI).

El principio en el que se basa el ensayo de pozo consiste en el bombeo a caudales variables (conocido por bombeo escalonado) y la observación de su efecto en la variación del nivel de agua, para ello se utilizan dos tipos de ensayo de pozo.

En el caso de que el bombeo se lleve a cabo por etapas independientes, tras cada intervalo de bombeo existe un tiempo en el que se eleva el nivel de agua (conocido como recuperación). Este tiempo de recuperación es al menos igual al del intervalo de bombeo. Se necesita una media de 14 horas para realizar el ensayo y tomar las medidas de campo. Su interpretación es más sencilla y más exacta que la de otros métodos.

Para bombeos por etapas relacionadas entre sí, no hay tiempo de recuperación. Este método es más rápido que el método por etapas independientes (una media de 6 horas en la toma de datos de campo), pero para asegurar la exactitud se necesita realizar algunas correcciones en las medidas de los descensos de nivel tras la primera etapa. Su interpretación es, por tanto, algo más difícil y a veces menos exacta.

2.1 Etapas independientes

2.1.1 MÉTODO ESTÁNDAR

Se llevan a cabo un mínimo de tres etapas sucesivas de bombeo de 2 horas cada una incrementando el caudal. Tras cada intervalo de bombeo se realiza una pausa al menos tan larga como el bombeo, para permitir que el nivel del agua del pozo se aproxime a la recuperación (Figura 14.5).

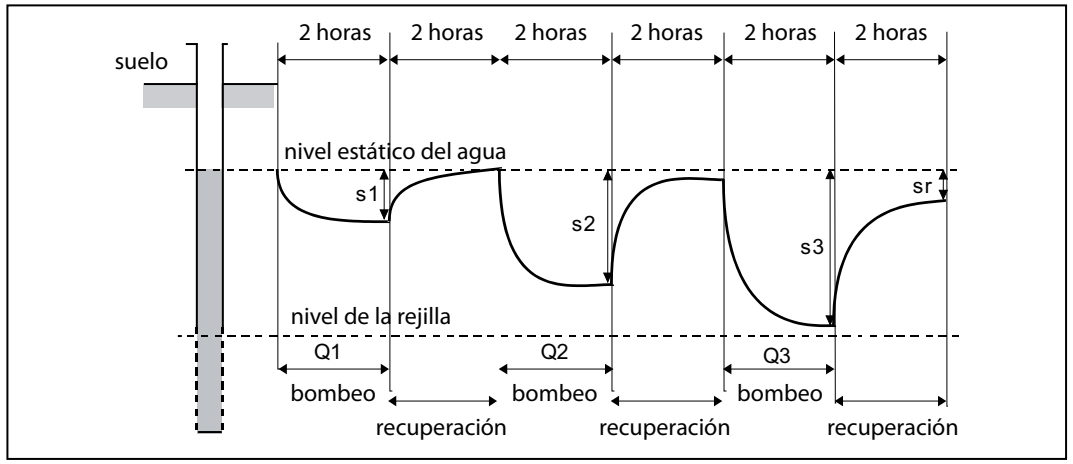


Figura 14.5: Ensayo de etapas independientes en un pozo.

El ensayo consta de las siguientes fases:

0.	Fase de reposo	No se debe realizar ningún tipo de trabajo en un período de 24 horas, para asegurarse de que el nivel de agua medido antes del primer bombeo sea realmente el nivel estático.
1.	Intervalo de bombeo No 1	– El caudal Q_1 del primer intervalo está próximo al caudal futuro de operación. En el caso de bombeo manual el rango del caudal se encuentra entre 0,7 $m^3/h < Q_1 < 1,0$ m^3/h. – Tiempo de bombeo 2 h. – El descenso del nivel del agua s_1 se mide al final del bombeo.
	Recuperación No 1	– El tiempo de observación para la recuperación del nivel de agua tras el bombeo es de 2 h.
2. .	Intervalo de bombeo No 2	– Caudal $Q_2 = (Q_1 + Q_3)/2$ – Tiempo de bombeo 2 h. – s_2 es el descenso de nivel medido al final del bombeo (2 h).
	Recuperación No 2	– El tiempo de observación para la recuperación del nivel de agua tras el bombeo es de 2 h.
3.	Intervalo de bombeo No 3	– $Q_3 = Q_{max}$. Q_{max} se determina previamente como el máximo caudal que no produce el vaciado del pozo. En la práctica puede resultar difícil evaluar Q_{max} por lo que se toma un valor arbitrario de Q_3 igual al 70% del valor del máximo caudal en el período de desarrollo del pozo. – Tiempo de bombeo 2 h. – s_3 es el descenso del nivel de agua medido después de 2 h de bombeo.
4.	Recuperación No3	– El tiempo de observación para la recuperación del nivel de agua después del bombeo es de al menos 2 h, pero debería durar hasta que el nivel del agua estuviera próximo al nivel estático inicial. – La diferencia entre el nivel de agua inicial y el medido tras la recuperación se denomina descenso residual del nivel de agua (sr).

Los descensos de nivel y los caudales se registran como función del tiempo durante todo el proceso. Los pares de valores caudal, máximo descenso del nivel (Q_1, s_1) (Q_2, s_2) (Q_3, s_3) se registran al final de cada intervalo.

2.1.2 VALIDACIÓN DE DATOS E INTERPRETACIÓN

Antes de interpretar los datos de campo, los registros deben ser verificados tal y como se indica en la Sección 1: los cambios externos deben ser identificados y cualquier registro erróneo debe ser descartado o corregido.

Existen diferentes métodos de análisis de datos que se recogen en las referencias citadas. En este capítulo se presentan dos métodos sencillos: el método de descensos de nivel de Jacob se utiliza para calcular las pérdidas de carga y el de recuperación de Theis para estimar la transmisividad local del acuífero.

Ecuación de Jacob para el descenso de nivel

Para el descenso de nivel en un pozo de bombeo, la ecuación de Jacob es (Kruseman y de Ridder, 2000):

$$s = (B_a + B_w) \cdot Q + C_w \cdot Q^p$$

donde s es el descenso de nivel medido, Q el rendimiento de bombeo, B_a es el coeficiente lineal de las pérdidas de carga del acuífero, B_w es el coeficiente lineal de las pérdidas de carga en el pozo, C_w es el coeficiente no lineal de las pérdidas de carga del pozo, y p puede variar entre 1,5 y 3,5.

La ecuación de Jacob nos indica que el descenso de nivel del agua medido en un pozo bombeado consta de dos componentes (Figura 14.6): las pérdidas de carga del acuífero y las del pozo. Las pérdidas de carga del acuífero aparecen cuando el flujo es laminar. Dependen del tiempo y varían linealmente con el caudal de bombeo. Se cuantifican con el coeficiente B_a. Las pérdidas del pozo se dividen en lineales y no lineales. Las pérdidas lineales son debidas a las modificaciones causadas en el acuífero durante la excavación y la construcción del pozo (coeficiente B_w); las no lineales se producen principalmente en el paquete de grava y en el filtro donde el flujo es turbulento (coeficiente C_w).

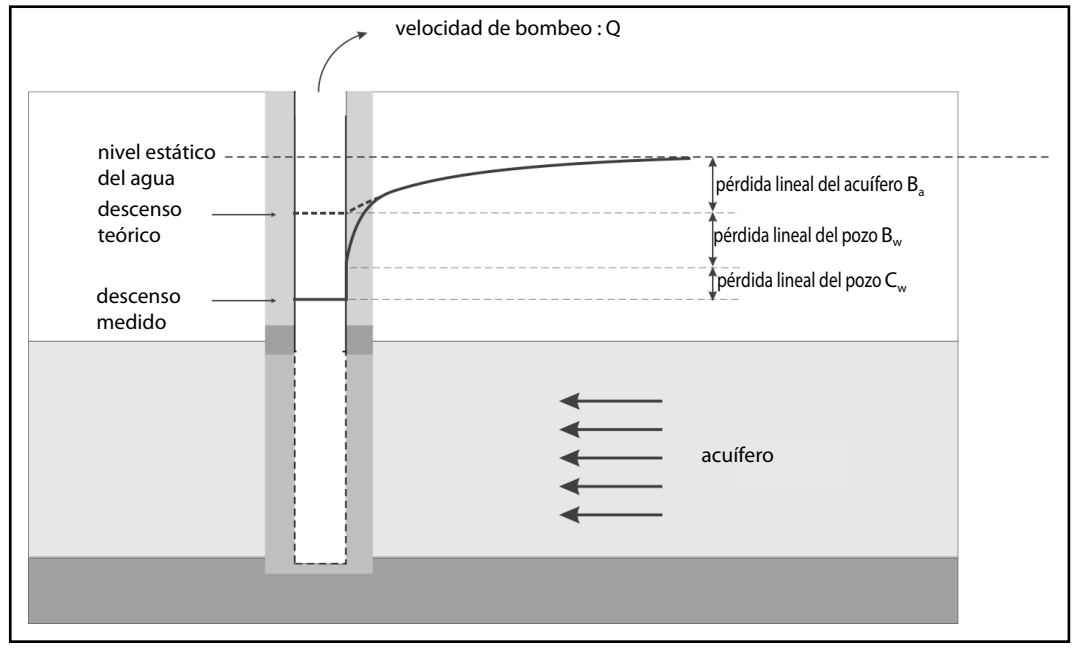


Figura 14.6: Pérdidas de carga en un pozo bombeado.

En la práctica, no es posible diferenciar los coeficientes B_a y B_w y la ecuación de Jacob se simplifica de forma que $s = B \cdot Q + C \cdot Q^2$. El método de interpretación hace posible evaluar el coeficiente de pérdidas de carga lineales B y el coeficiente C de las pérdidas de segundo orden. Siendo B y C conocidos, es posible predecir el descenso de nivel para cualquier caudal Q en un instante t (B es función del tiempo). De la relación entre s y Q es posible determinar el rendimiento óptimo de funcionamiento en el pozo. Finalmente, el valor relativo de C se utiliza para evaluar la eficacia del pozo.

Este método es únicamente válido, teóricamente, cuando se cumplen las condiciones siguientes:

– el acuífero es confinado, no confinado o es permeable;

– el acuífero se extiende por una superficie infinita;

– el acuífero es homogéneo, isótropo y de espesor uniforme en el área de influencia del ensayo;
– la superficie piezométrica es horizontal en el área de influencia del ensayo, antes del comienzo del ensayo;
– el pozo penetra por la totalidad del espesor del acuífero por lo que el flujo en el mismo es horizontal;
– las pérdidas de carga no lineales varían de acuerdo con $C \cdot Q^2$ (p=2).

Estas condiciones ideales no siempre se encuentran en la realidad, por lo que es esencial prestar especial cuidado en la interpretación de resultados y en la exactitud de la toma de datos, y utilizar el sentido común, para asegurar un nivel de aproximación aceptable.

La interpretación puede llevarse a cabo de forma manual (utilizando papel pautado), con soporte informático como el programa Excel (ACF dispone de hojas de cálculo preparadas), o utilizando un programa específico de interpretación como el WHI AquiferTest Pro (http://www.flowpath.com).

Estimación de la eficacia del pozo: cálculo de las pérdidas de carga

De acuerdo con la ecuación de Jacob, la función $s_i/Q_i = f(Qi)$ será una línea recta de pendiente C y con un valor de la ordenada en el origen igual a $B \cdot (s = B\,Q + C \cdot Q^2 \leftrightarrow s/Q = B + C \cdot Q$, Figura 14.7). Los valores de B y C proporcionan la ecuación del pozo perforado para todos los caudales para los que el tiempo de bombeo es el mismo que el del ensayo. Hay que señalar que este procedimiento es completamente válido cuando se alcanza el estado estacionario al final de cada intervalo. En la práctica, es importante mantener el bombeo hasta que el descenso de nivel del agua varíe muy poco con el tiempo (estado cuasi-estacionario).

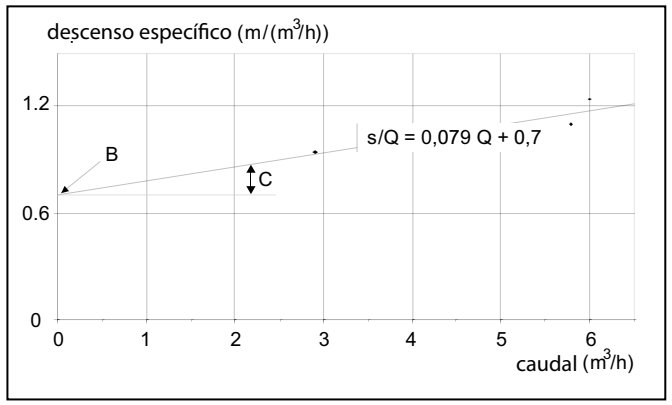


Figura 14.7: Cálculo de las pérdidas de carga. Ensayo del pozo perforado F1. Estimación de las pérdidas de carga usando el método de Jacob.
Pérdidas lineales:
B = 0,7 m/(m³/h).
Pérdidas de carga segundo orden:
C = 7,9 · 10⁻² m/(m³/h)².

Existe otro parámetro, denominado J, que se utiliza para estimar la calidad del pozo perforado (Forkasiewicz, 1972). J es un coeficiente que representa la relación entre las pérdidas lineales y las de segundo orden: $J = \Delta Q/s \,/\, Q/s$.

B, C, y J no pueden interpretarse por sí mismos, pero pueden ser comparados entre diferentes pozos. Siempre es útil estimar la calidad de un pozo en un programa de rehabilitación o cuando se planifica la instalación de una bomba sumergible. De acuerdo con De Marsily (1986) y Forkasiewicz (1972), se puede obtener una primera aproximación de la eficacia de un pozo utilizando los valores de la Tabla 14.III.

Tabla 14.III: Orden de magnitud de las pérdidas de carga. C expresado en m/(m³/h)².

C	$C < 1{,}9 \cdot 10^{-2}$	buen pozo, alto grado de explotación
	$1{,}9 \cdot 10^{-2} < C < 3{,}7 \cdot 10^{-2}$	pérdidas de carga significativas
	$3{,}7 \cdot 10^{-2} < C < 1{,}5$	pozo obstruido o deteriorado
	$C > 1{,}5$	pozo que no puede ser rehabilitado
J	$J < 10\%$	pérdidas de segundo orden insignificantes con respecto a las lineales
	$J > 10\%$	pérdidas de segundo orden significativas comparadas con las lineales

Evaluación del régimen de bombeo máximo: curva del pozo

Al final de cada etapa, se registran las parejas de valores (s_1, Q_1) (s_2, Q_2) y (s_3, Q_3). Al dibujar estos valores en un papel milimetrado, con s en las ordenadas y Q en las abscisas se ve la relación entre el caudal de bombeo y el descenso de nivel originado (Figura 14.8). A partir de la ecuación de la pérdida de carga $s = BQ + CQ^2$, es posible representar en el mismo gráfico la línea recta $s = BQ$ con el fin de visualizar las pérdidas de carga lineales y de segundo orden relacionadas con el descenso del nivel.

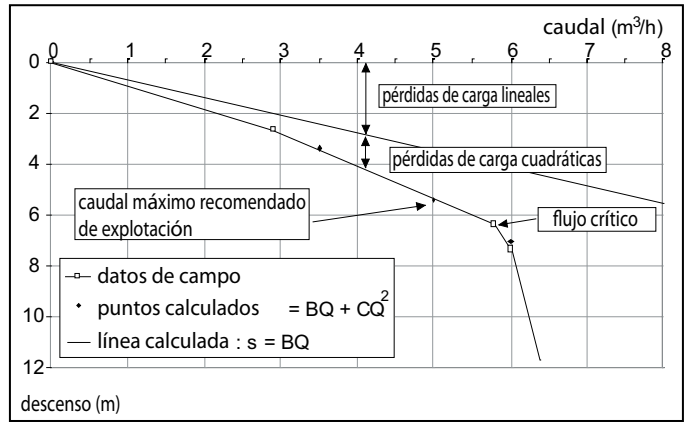


Figura 14.8: Curva del pozo s = f(Q) del pozo perforado F1.

Un aumento significativo de las pérdidas de carga de segundo orden crea una inflexión en la curva, que permite determinar el caudal crítico. El punto de inflexión se debe a un bombeo excesivo que crea un régimen turbulento y grandes pérdidas de carga de segundo orden, aunque también pueden ser debidas al agotamiento de un horizonte particularmente productivo. El régimen máximo de caudal (aforo) se fija ligeramente por debajo del régimen crítico. Si no existe ninguna discontinuidad en la pendiente de la curva del pozo, el régimen máximo de bombeo se fija en función del máximo descenso del nivel de agua, que está generalmente 1 m por encima del filtro de la bomba. La ecuación de Jacob $s = B \cdot Q + C \cdot Q^2$ tiene una solución real y positiva.

$$Q = \frac{\sqrt{B^2 + 4 \cdot C \cdot s} - B}{2 \cdot C}$$

El caudal máximo se obtiene dando a s el valor máximo permitido del descenso de nivel.

Cabe señalar que si los valores (s_i, Q_i) se alinean en una curva ligeramente cóncava es posible que las medidas no hayan sido tomadas adecuadamente, o que ocurriese algo durante el bombeo, como el lavado del paquete de grava o la mejora de la circulación en las proximidades del pozo. En este caso se debe repetir el ensayo.

Evaluación de posibles descensos futuros de nivel: relación entre descenso de nivel, rendimiento y tiempo

Para estimar el descenso de nivel generado por ritmos de bombeo diferentes de los del ensayo, se puede utilizar la ecuación de la pérdida de carga $s = B \cdot Q + C \cdot Q^2$. Los descensos de nivel estimadas de este modo son válidos únicamente para tiempos de bombeo del orden de la duración de los intervalos del ensayo.

En el ensayo de un pozo, no se puede realizar una estimación fiable del descenso de nivel generado para períodos de bombeo superiores a los del ensayo. De hecho, el efecto producido por varias horas de bombeo se aprecia únicamente en una parte restringida del acuífero alrededor del pozo (ver Sección 3). De todas formas, se han propuesto e incluso utilizado diversas soluciones a gran escala en África que optimizan la información obtenida en los ensayos de los pozos. Los resultados que se presentan aquí fueron obtenidos en el campo y son consistentes. Sin embargo, se deben tener presentes

sus limitaciones: la extrapolación de datos para predecir el funcionamiento durante más de 6 meses a partir de un ensayo de un pozo que dura algunas horas no es del todo fiable.

Las bajadas del nivel medidas durante el ensayo (ordenadas, escala milimétrica) se dibujan junto a los tiempos de bombeo (abscisas, escala logarítmica) en un papel semi-logarítmico. La línea s = f(t) debe ser una recta al cabo de un tiempo (ver la sección del método de Jacob). Es posible extrapolar esta línea recta para estimar el descenso de nivel generado para el mismo régimen de caudal pero para un mayor tiempo de bombeo (Figura 14.9).

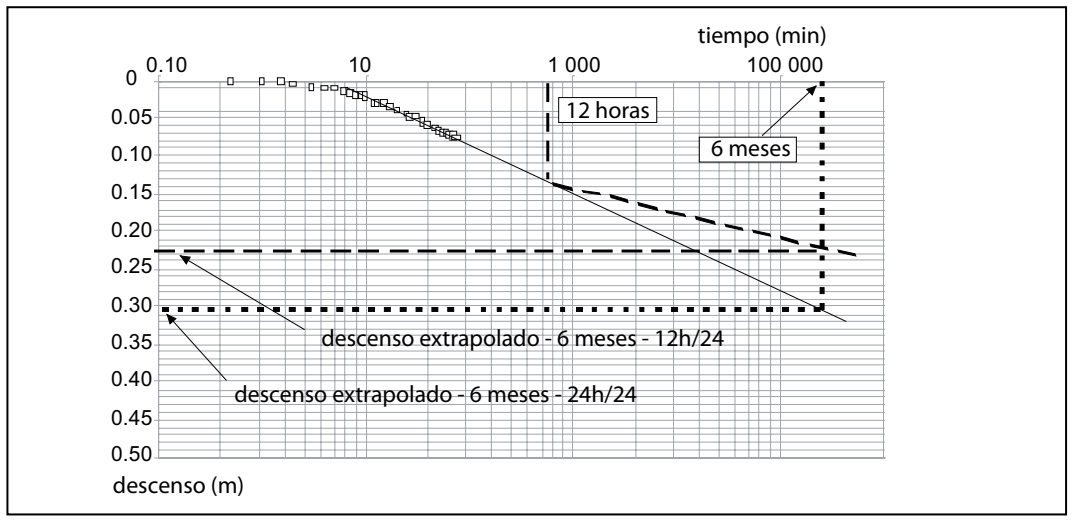


Figura 14.9: Extrapolación de la extracción en función del tiempo.

Si el período de bombeo dura n horas al día, el descenso de nivel al cabo de 6 meses puede estimarse de la siguiente manera:

– a partir de los datos del ensayo se extrapola el descenso de nivel generado al cabo de n horas de bombeo, extendiendo la línea recta s = f(t);

– extrapolar la línea recta más allá de las n horas (por ejemplo hasta 6 meses) corrigiendo la pendiente con la siguiente relación n/24.

La primera línea recta de la Figura 14.4 es una extrapolación del descenso de nivel para un período de bombeo de 6 meses, 24 horas por día. La segunda es el ejemplo de una extrapolación de 6 meses, 12 horas por día.

Si se procede de esta forma se obtienen nuevos puntos (s_i extrapolada, Q_i), con lo que obtenemos una nueva curva para el pozo $s_{extrapolada} = f(Q)$. Se puede obtener entonces un régimen de funcionamiento teórico en base al descenso de nivel máximo permitido.

Profundidad de instalación de la bomba: predicción del nivel dinámico

La profundidad a la que debe instalarse el filtro de la boca de aspiración de la bomba depende del nivel dinámico esperado. Este nivel viene dado por el descenso del nivel de agua generado por la extracción de agua e incrementado por las variaciones piezométricas anuales. Para obtener mayor exactitud se debe aplicar una corrección que tenga en cuenta las variaciones anuales del nivel estático.

Se debe estimar el descenso de nivel para un caudal de operación de una duración equivalente a la estación seca (de 4 a 8 meses dependiendo del contexto) y durante un período de bombeo diario establecido (4 a 20 horas). Debe incrementarse por las variaciones estacionales en el nivel piezométrico (Tabla 14.IV). El filtro de la boca de aspiración se coloca generalmente a 2 ó 3 m por debajo del nivel dinámico calculado de esta forma.

Tabla 14.IV: Variaciones (m) en el nivel estático del agua, en diversas formaciones de roca de base descompuesta en diferentes países de la zona de Sudan-Sahel.

Nivel estático	Variaciones previsibles del nivel estático									
	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
5 m	6	5,40	4,80	4,20	3,60	3	2,40	1,80	1,20	0,60
10 m	4	3,60	3,20	2,80	2,40	2	1,60	1,20	0,80	0,40
15 m	2,50	2,25	2	1,75	1,50	1,25	1	0,75	0,5	0,26
20 m	1,50	1,35	1,20	1,05	0,90	0,75	0,60	0,45	0,30	0,15
25 m	1	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10

Por ejemplo, en un ensayo de bombeo en un pozo perforado que se va equipar con una bomba manual la interpretación del ensayo predice una bajada del nivel de 5,50 m al cabo de 8 meses de bombeo a 1 m^3/h durante 8 h diarias. El nivel estático medido antes del ensayo del 15 de febrero es 17,5 m. De acuerdo a la Tabla 14.IV, el descenso previsible del nivel estático antes de las próximas lluvias (junio) es 1 m. Por lo que la instalación de la bomba propuesta es 17,5 + 1 + 5,5 + 3 = 27 m.

Cabe señalar que este procedimiento se utiliza también para estimar la profundidad del pozo cuando se construye un pozo combinado (ver Capítulo XVI). Cuando se excava el otro pozo después de la perforación del primero, la profundidad mínima del pozo será de 1 ó 2 m por debajo del nivel dinámico previsible.

Estimación de la transmisividad local: análisis de recuperación

El ensayo de un pozo no proporciona un valor representativo de la transmisividad del acuífero. Los tiempos de bombeo no son lo suficientemente prolongados como para afectar al volumen del acuífero. La transmisividad calculada a partir del ensayo de un pozo tiene valor sólo en las proximidades del pozo, pero es interesante ya que permite la comparación entre pozos.

La evaluación más fiable de la transmisividad se obtiene a partir de la interpretación de la curva de recuperación (elevación del nivel de agua después del último intervalo de bombeo). La interpretación del método, denominado el método Theis de recuperación (Kruseman y de Ridder, 2000) se presenta en la sección 1. El procedimiento consiste en representar gráficamente los pares de valores experimentales (t/t', s) en papel semi-logarítmico y se ajusta una recta a través de ellos ponderando mayormente los últimos tiempos. La transmisividad se calcula a partir de la pendiente de esta recta, o sea que $C = 0{,}183 \cdot Q / T$ donde Q es el caudal de la última etapa de bombeo i (m^3/h), T es la transmisividad (m^2/h), y t y t' los tiempos transcurridos desde el principio y el final del bombeo i respectivamente (h). Se representa un ejemplo de la curva de recuperación en la Figura 14.10.

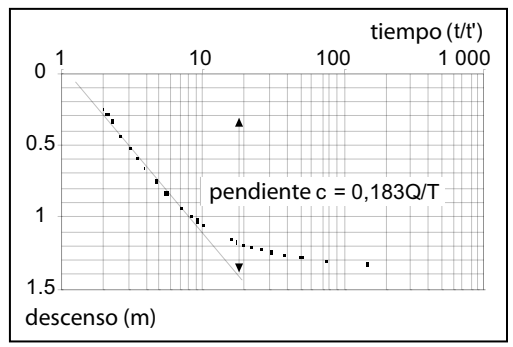


Figura 14.10: Curva de recuperación, pozo perforado F4 – s = f(t/t').

2.1.3 EJEMPLOS

Los siguientes ejemplos se refieren a los campos de refugiados de Sierra Leona en la región de Forecaria de Guinea Conakry. La campaña de perforación de pozos llevada a cabo por ACF en 1998 tenía el objetivo de abastecer de agua potable a los campos. El terreno estaba compuesto por roca cristalina fracturada y descompuesta (mesocrates, dioritas o gabros).

El objetivo de los ensayos del pozo era decidir la profundidad de instalación de bombas hidráulicas (Vergnet tipo HPV60) y comprobar si los pozos perforados podían equiparse con pequeñas estaciones de bombeo (con el fin de proporcionar un aumento rápido de caudal en caso de aumento del número de refugiados).

Pozo de alta productividad: pozo perforado No.1 (Kaleah I)

Los principales resultados del ensayo se muestran en las Figuras 14.11 y 14.12 y en las Tablas 14.V y 14.VI.

Este pozo perforado puede dotarse de una bomba Vergnet HPV 60 con total garantía. La aspiración de la bomba se fija a 12 m de profundidad (teniendo en cuenta las variaciones del nivel estático y tomando un factor de seguridad de 3 m).

Este pozo puede seleccionarse también para la instalación de una pequeña estación de bombeo si el número de refugiados aumenta en los meses siguientes: de hecho es posible obtener un caudal de 6 m^3/h. El nivel final se obtuvo con la máxima capacidad de la bomba sumergible utilizada. Sin embargo, se podría conseguir un caudal superior a 6 m^3/h si el descenso del nivel no se desvía de los valores de la curva $s = f(Q)$ (con el fin de no sobrepasar el caudal crítico que no se pudo observar todavía) y el nivel no desciende de la parte más alta del filtro (para evitar el agotamiento de la zona productiva).

La parte más alta de la zona filtrante del pozo perforado se encuentra a 19,5 m y el nivel estático más profundo a 6,5 m, el máximo descenso de nivel estimado es de 13 m. Tomando un margen de seguridad de 3 m, se puede estimar un descenso máximo del nivel de 10 m. Según la curva $s = f(Q)$, este descenso de nivel se corresponde con un caudal de unos 8,8 m^3/h. Estos valores deben verificarse cuando haya que instalar cualquier estación de bombeo, y puede que sea necesario utilizar una válvula de regulación para ajustar el caudal con las medidas observadas del descenso de nivel.

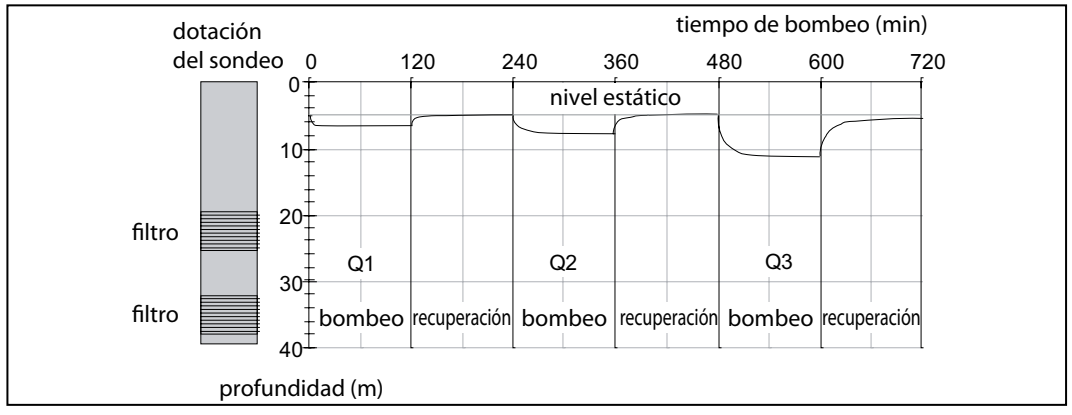


Figura 14.11: Nivel de agua en función del tiempo.

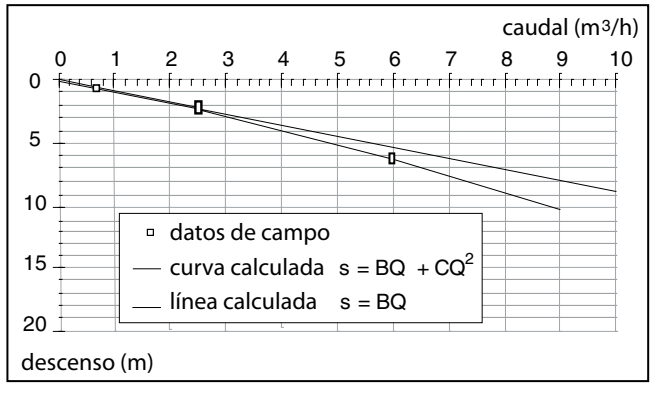


Figura 14.12:
Curva caudal – descenso del nivel [s = f(Q)].

Tabla 14.V: Condiciones del ensayo.

Fecha	Agua	Turbidez	T	pH	EC	Caudal máximo de operación (m^3/h)
22/01/1998	Clara sin arena (transparencia < 0,5 cm)	< 5 NTU	27,5°C	7,8	205-220 µS/cm	6-8,8

Tabla 14.VI: Resultados del ensayo.

Caudal / etapa (m^3/h)	Tiempo de bombeo (h)	Descenso del nivel (m)		Capacidad específica (m^3/h)/m	Valor de las pérdidas de carga de segundo orden $m/(m^3/h)^2$
		máx. al final de la etapa	residual después 2 h		
0,7	2	0,65	0,02	1,077	$6 \cdot 10^{-3}$
2,5	2	2,33	0,05	1,073	
6	2	6,29	0,09	0,954	

Pozo de baja productividad: pozo perforado No. 2 (Kaleah I)

Los resultados de este ensayo se dan en las Figuras 14.13 y 14.14 y en las Tablas 14.VII y 14.VIII.

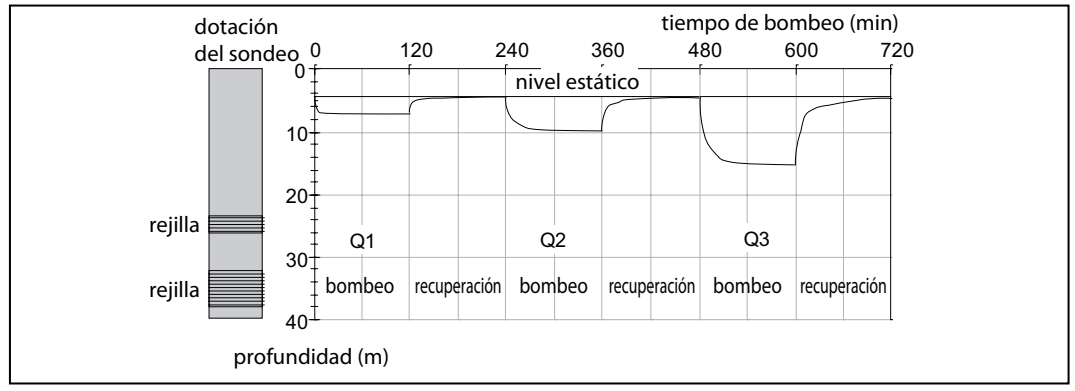


Figura 14.13: Nivel de agua en función del tiempo.

Este pozo perforado tiene una productividad suficiente como para ser equipado con una bomba Vergnet HPV 60. La aspiración de la bomba se sitúa a 15 m de profundidad.

A pesar del caudal de 5 m^3/h medido en la perforación, no es aconsejable instalar una estación de bombeo pequeña debido a que las pérdidas de carga son relativamente significativas comparadas con las del pozo No.1. La estabilización del nivel de agua no se alcanzó en el último intervalo, y caudales de operación mayores de 3,6 m^3/h causarían un descenso del nivel de agua por debajo del nivel del filtro (parte superior de la zona filtrante = 23,1 m, nivel estático = 4,4 m, máximo descenso permisible = 18,7 m, Q = 3,6 m^3/h para estar por debajo del caudal crítico). El caudal máximo estimado es de 3 m^3/h.

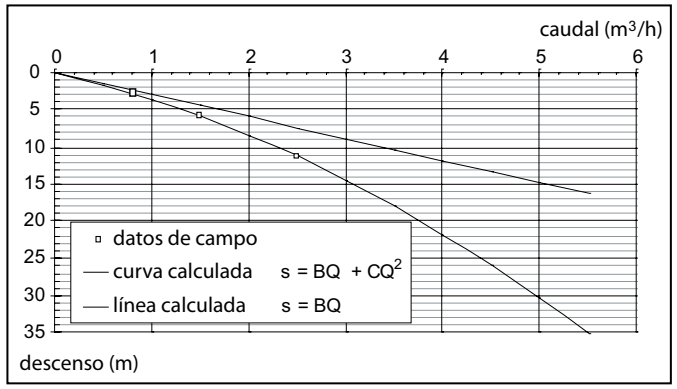


Figura 14.14: Curva caudal - descenso del nivel del agua [s = f(Q)].

Tabla 14.VII: Condiciones del ensayo. Sin variaciones en los valores durante el ensayo.

Fecha	Agua	Turbidez	T	pH	EC
22/01/1998	Clara sin arena (ensayo de transparencia < 0,5 cm)	< 5 NTU	28° C	7,8	205-220 µS/cm

Tabla 14.VIII: Resultados del ensayo.

Caudal / etapa (m^3/h)	Tiempo de bombeo (h)	Descenso del nivel (m)		Capacidad específica ($m^3/h)/m$	Valores de pérdidas de segundo orden $m/(m^3/h)^2$
		máx. al final del tramo	residual después 2 h		
0,8	2	2,79	0	0,287	$2{,}2 \cdot 10^{-2}$
1,5	2	5,81	0,09	0,258	
2,5	2	11,34	0,09	0,220	

2.2 Etapas consecutivas

Los intervalos de bombeo se llevan a cabo sin tiempo de recuperación entre ellos. De esta forma, el descenso del nivel se ve afectado por las series de bombeo previas y no sólo por el último efectuado. Para realizar una buena interpretación, es necesario corregir las medidas del descenso de nivel para que reflejen únicamente el último bombeo. Existen dos formas de realizar esta corrección: el cálculo matemático y el análisis gráfico.

2.2.1 MÉTODO SIMPLIFICADO

Se llevan a cabo tres bombeos sucesivos incrementando el caudal, y se observa la recuperación en la cota del nivel de agua en el pozo hasta que se llega a un nivel cercano al nivel estático previo al ensayo (Figura 14.15). Las fases del ensayo se presentan en la Tabla 14.IX:

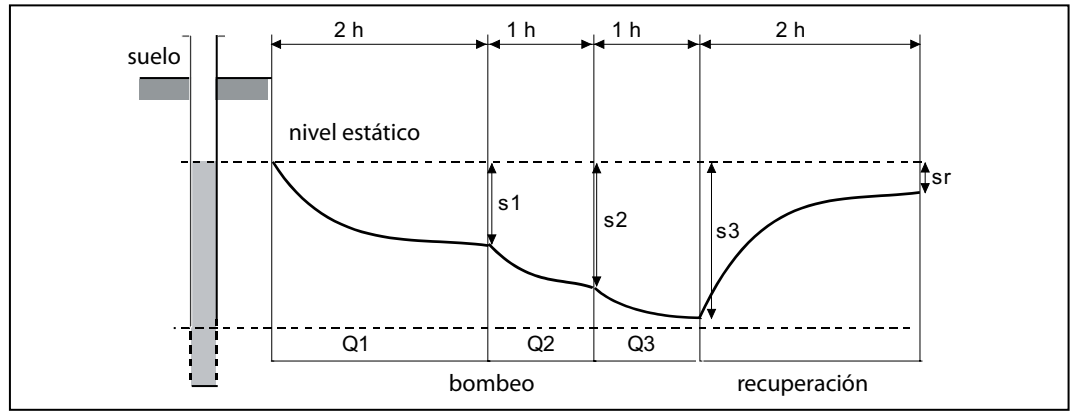


Figura 14.15: Ensayo del pozo mediante etapas consecutivas.

Tabla 14.IX: Fases del ensayo.

0.	Fase de reposo	No se debe realizar ninguna actividad durante un período de al menos 24 horas, para que el nivel de agua medido antes del primer bombeo sea el nivel estático.
1.	Bombeo No 1	–Caudal Q_1 del primer bombeo que se encuentra próximo al caudal de funcionamiento. En el caso de que el bombeo sea manual el caudal se encuentra entre 0,7 $m^3/h < Q_1 < 1{,}0$ m^3/h. – Tiempo de bombeo 2 h. – El descenso del nivel s_1 es el medido al final del bombeo.
2.	Bombeo No 2	– Caudal $Q_2 = (Q_1 + Q_3)/2$ – Tiempo de bombeo 1 h. – s_2 es el descenso del nivel medido al final del bombeo (2 + 1 = 3 h).
3.	Bombeo No 3	– $Q_3 = Q_{max}$ (Q_{max} es el máximo caudal calculado previamente que debería proporcionar el máximo descenso del nivel del agua). En la práctica puede ser muy difícil de evaluar por lo que el valor de Q_{max} que se puede utilizar es un valor arbitrario de Q_3 igual al 70% del valor del máximo caudal cuando el pozo está en explotación. – Tiempo de bombeo 1 h. – s_3 es el descenso del nivel medido para el tiempo de bombeo (2 + 1 + 1 = 4 h).
4.	Recuperación	– El tiempo de observación en la recuperación del nivel del agua es de al menos 2 horas tras el bombeo, pero debería durar hasta que se alcance el nivel inicial. – La diferencia entre el nivel inicial y el medido tras el tiempo de recuperación es lo que se denomina descenso residual del nivel (s_r).

2.2.2 CÁLCULO PARA LAS CORRECCIONES DE LOS DESCENSOS DE NIVEL

Para calcular la aspiración correspondiente a la que se hubiera alcanzado con un solo bombeo, se puede utilizar el método de Jacob de acuerdo con el principio de superposición (ver Sección 1.3.3). Considerando un ensayo de intervalos independientes si los tiempos de recuperación duran tanto como los tiempos de bombeo y la progresión en los caudales es significativa, los términos bajo el signo Σ de la ecuación de aspiración recogida en la Tabla 14.II se convierte rápidamente en insignificantes comparados con el término aislado. Las ecuaciones de aspiración se simplifican $S_i = [(0{,}183Q_i)/T] \log [(2{,}25Tt_i)/(r^2S)]$ donde i es el número del intervalo. Los descensos teóricos al final de cada intervalo en un ensayo de intervalos independientes son producidos únicamente por el último de bombeo. Se obtiene, entonces, un conjunto de pares de valores (s_i/Q_i) medidos directamente en campo y comparables entre sí.

Cuando los bombeos son seguidos no es posible despreciar los términos bajo el signo Σ. Los descensos del nivel obtenidos al final de cada bombeo son producidos por el total de los bombeos previos y se necesita realizar una corrección para establecer comparaciones.

Para tres bombeos conectados, los descensos de nivel medidos son:

$$s_1 = \frac{0{,}183 \cdot Q_1}{T} \cdot \log\left(t_1 \frac{2{,}25 \cdot T}{r^2 \cdot S}\right) + J_1$$

$$s_2 = \frac{0{,}183 \cdot Q_1}{T} \cdot \log\left(t_2 \frac{2{,}25 \cdot T}{r^2 \cdot S}\right) - \frac{0{,}183 \cdot Q_1}{T} \cdot \log\left((t_2 - t_1) \frac{2{,}25 \cdot T}{r^2 \cdot S}\right) + \frac{0{,}183 \cdot Q_2}{T} \cdot \log\left((t_2 - t_1) \frac{2{,}25 \cdot T}{r^2 \cdot S}\right) + J_2$$

$$s_2 = \frac{0{,}183 \cdot Q_1}{T} \cdot \log\left(\frac{2{,}25 \cdot T}{r^2 \cdot S}\right) + \frac{0{,}183 \cdot (Q_2 - Q_1)}{T} \cdot \log\left((t_2 - t_1) \frac{2{,}25 \cdot T}{r^2 \cdot S}\right) + J_2$$

$$s_3 = \frac{0{,}183 \cdot Q_1}{T} \cdot \log\left(t_3 \frac{2{,}25 \cdot T}{r^2 \cdot S}\right) - \frac{0{,}183 \cdot (Q_2 - Q_1)}{T} \cdot \log\left((t_3 - t_1) \frac{2{,}25 \cdot T}{r^2 \cdot S}\right) + \frac{0{,}183 \cdot (Q_3 - Q_2)}{T} \cdot \log\left((t_3 - t_2) \frac{2{,}25 \cdot T}{r^2 \cdot S}\right) + J_3$$

Por definición los descensos corregidos son:

$$s_{1-c} = \frac{0{,}183 \cdot Q_1}{T} \cdot \log\left(t_1 \frac{2{,}25 \cdot T}{r^2 \cdot S}\right) + J_1$$

$$s_{2-c} = \frac{0{,}183 \cdot Q_2}{T} \cdot \log\left(t_2 \frac{2{,}25 \cdot T}{r^2 \cdot S}\right) + J_2$$

$$s_{3-c} = \frac{0{,}183 \cdot Q_3}{T} \cdot \log\left(t_3 \frac{2{,}25 \cdot T}{r^2 \cdot S}\right) + J_3$$

Comparando los dos sistemas de ecuaciones, obtenemos:

$$s_{1-c} = s_1$$

$$s_{2-c} = s_2 + \frac{0{,}18}{T} \cdot \left(Q_2 \cdot \log \frac{t_1}{t_2 -} - Q_1 \cdot \log \frac{t_2}{t_2 - t_1}\right)$$

$$s_{3-c} = s_3 \frac{0{,}183}{T} \cdot \left(Q_3 \cdot \log \frac{t_1}{t_3 - t_2} - Q2 \cdot \log \frac{t_3 - t_1}{t_3 - t_2} - Q1 \cdot \log \frac{t_3}{t_3 - t_1}\right)$$

Cualquiera que sea el protocolo del ensayo, es posible corregir los descensos de nivel medidos usando el mismo cálculo. Por ejemplo, los descensos de nivel corregidos del método simplificado de 2 horas para el primer intervalo, 1 hora para el segundo y 1 hora para el último:

$$s_{1-c} = s_1$$

$$s_{2-c} = s_2 + \frac{0{,}183}{T} \cdot (0.3 \cdot Q_2 - 0.48 \cdot Q_1)$$

$$s_{3c} = s_3 + \frac{0.183}{T} \cdot (0.3 \cdot Q_3 - Q_2 - Q_1)$$

T puede determinarse usando el método de recuperación de Theis (Sección 1) o su forma modificada incluida en la siguiente sección.

2.2.3 ESTIMACIÓN GRÁFICA DE LOS DESCENSOS DE NIVEL CORREGIDOS

Se puede utilizar un análisis gráfico para estimar los descensos de nivel corregidos. Para llevar a cabo este proceso es necesario que el procesamiento de datos sea muy preciso.

La Figura 14.16 presenta un ensayo realizado en un pozo perforado en una formación rocosa granítica. Se han llevado a cabo cuatro intervalos de bombeo seguidos, el último se paró porque el nivel dinámico alcanzó la cota de la aspiración de la bomba.

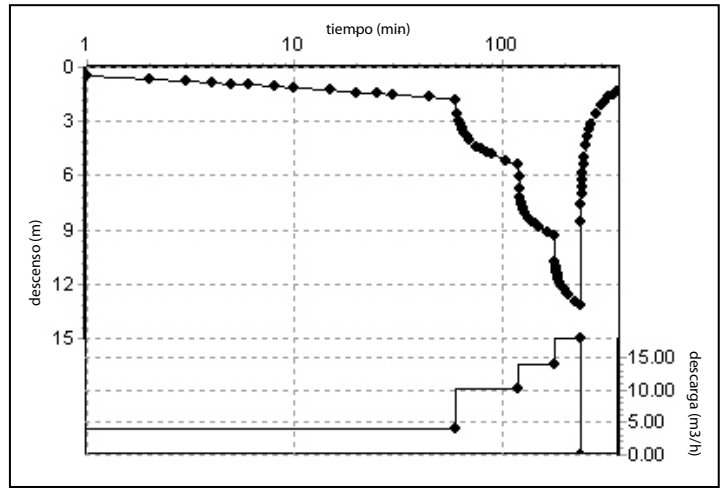


Figura 14.16: Cuatro intervalos seguidos de bombeo, pozo perforado 204.

El análisis gráfico consiste en la estimación del descenso del nivel de cada intervalo utilizando la pendiente del descenso del nivel previo. La Figura 14.17 muestra la estimación del descenso del nivel corregido para el ensayo del pozo anterior (Figura 14.16). La pendiente se ha de escoger muy cuidadosamente a causa, lógicamente, de su gran influencia en la estimación del descenso del nivel.

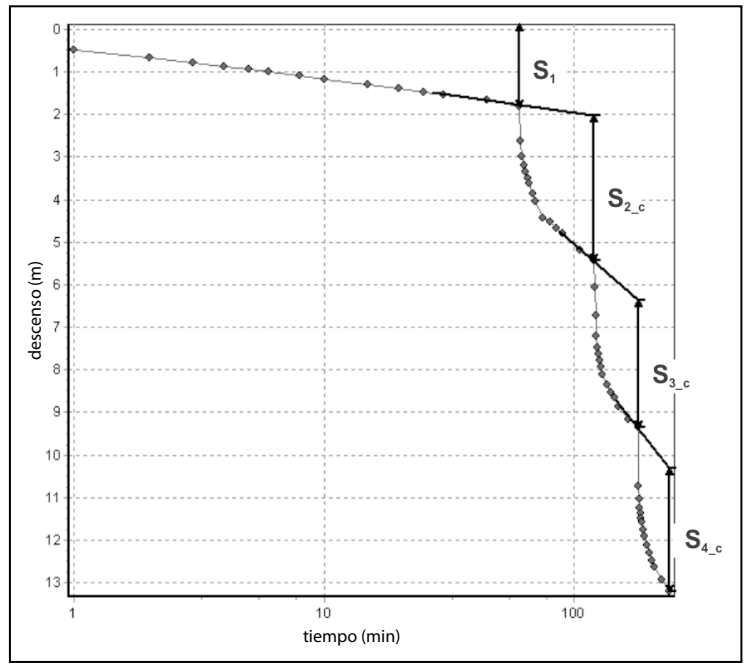


Figura 14.17: Estimación gráfica del descenso de nivel corregido s_{i_c}, pozo perforado 204.

2.2.4 VALIDACIÓN DE DATOS E INTERPRETACIÓN

La validación y la interpretación se llevan a cabo de forma similar a la que se realiza en los ensayos de bombeos independientes, pero utilizando los descensos de nivel corregidos. Sin embargo, existen diferencias con respecto a la predicción del nivel dinámico y la estimación de la transmisividad local.

Predicción del nivel dinámico

Se deben tener en cuenta ciertas recomendaciones a la hora de realizar las extrapolaciones en la interpretación de los ensayos con intervalos independientes. Se debe ser escéptico y crítico con estas extrapolaciones tan atrevidas.

Para estimar el descenso de nivel originado por un bombeo de mayor duración que la del ensayo se utiliza un gráfico semi-logarítmico en el que se representa el descenso de nivel específico s_i/Q_i de una serie de intervalos en las ordenadas (escala milimétrica) con respecto a los tiempos correspondientes en las abscisas (escala logarítmica). En teoría, estos puntos se pueden alinear de modo que se puede ajustar una recta asíntota común para todos ellos (Figura 14.18). Esta línea recta puede prolongarse para tiempos de bombeo mayores a los del ensayo. Se obtiene así un valor nuevo de s/Q al que corresponde un tiempo nuevo. Dibujando este valor en el gráfico s/Q = f(Q) y trazando una línea paralela a la obtenida en el ensayo nos proporciona un nuevo valor de B. Se puede, entonces, definir la ecuación del pozo ($s = BQ + CQ^2$) para un nuevo tiempo de bombeo (Figura 14.19).

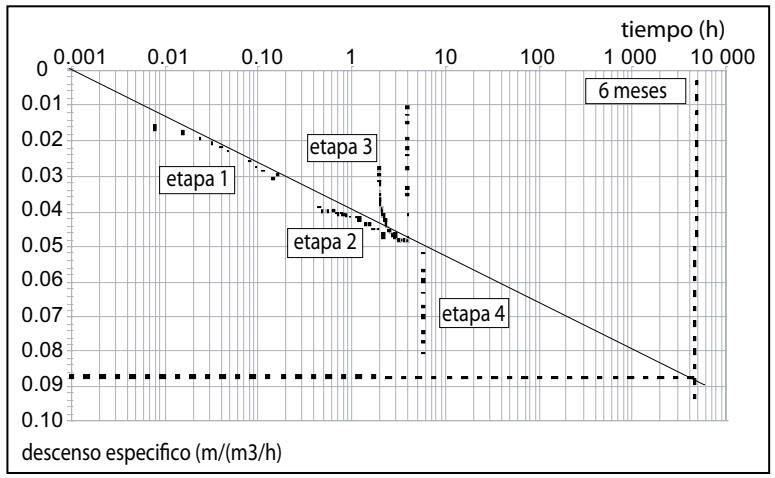


Figura 14.18: Extrapolación del descenso de nivel específico, pozo P1.

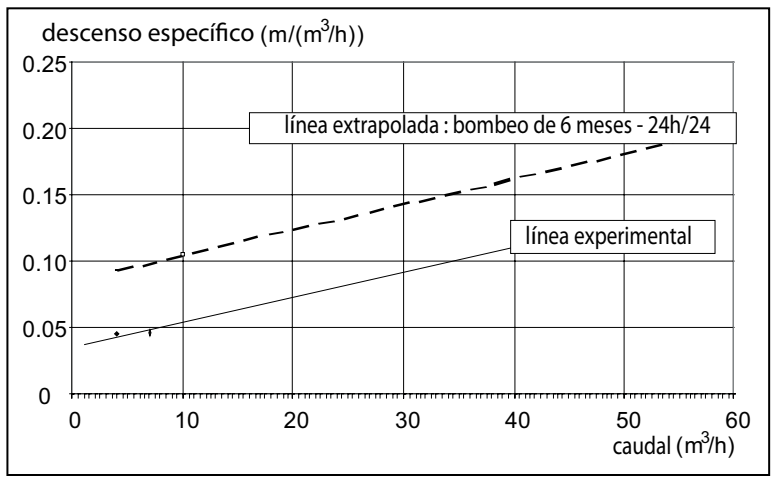


Figura 14.19: Extrapolación del descenso del nivel, pozo P1.

Estimación de la transmisividad local

Para períodos de bombeo a intervalos independientes, se recomienda que el cálculo de la transmisividad local se haga con el estudio de la curva de recuperación. Es posible dibujar esta curva bajo la forma $(s_3–s)/Q_3 = f(t')$ donde t' es el tiempo transcurrido desde el final del bombeo, en el mismo diagrama que el de las etapas consecutivas s/Q = f(Q). Las dos líneas rectas (bombeo y recuperación) deben tener la misma pendiente C, de forma que $T = 0{,}183 \cdot Q / C$.

3 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE BOMBEO

3.1 Diseño del ensayo

Antes de realizar el ensayo, es necesario obtener información sobre la geología local (la litología del pozo), el tipo de acuífero y del pozo perforado (diámetro, profundidad, situación del filtro, caudal estimado en la explotación y el descenso de nivel correspondiente).

Esta información permite la preparación del programa de bombeo y la definición del máximo descenso permisible del nivel del agua, caudales de bombeo, número y duración de cada intervalo de bombeo para el ensayo, número y posición de los piezómetros y la duración del bombeo para un ensayo del acuífero.

3.1.1 ASPIRACIÓN MÁXIMA Y CAUDAL DE BOMBEO

Los datos obtenidos durante el desarrollo del pozo perforado determinan el caudal máximo (este es el último paso en el ensayo del pozo). Se debe obtener con él el máximo descenso del nivel, de tal forma que el espesor de la zona saturada permanezca constante durante la duración del ensayo si el acuífero es confinado y el descenso de nivel final es inferior al 60% del espesor de la zona saturada si no es confinado.

3.1.2 ENSAYO DEL POZO: NÚMERO Y DURACIÓN DE LOS ENSAYOS

Con el caudal máximo permisible se define el número de intervalos de acuerdo a la Tabla 14.X. Este caudal influye también en la duración de estos intervalos, que depende de las características del pozo y del acuífero.

Tabla 14.X: Estimación del número y de la duración de las etapas de bombeo según el rendimiento máximo de bombeo.

Rendimiento máximo esperado (del desarrollo del pozo o de un pozo próximo)	Número mínimo de fases	Duración esperada de fases
$Q < 2$ m³/h	1	4 horas
2 m³/h $< Q <$ 3 m³/h	2	2 + 2 horas
$Q > 3$ m³/h	3 y más	1,5 + 1,5 + 1,5 horas+…

La duración de los intervalos depende del comportamiento del pozo durante el bombeo: es fundamental que el descenso del nivel al final de cada ensayo de bombeo en intervalos independientes esté prácticamente estabilizado. Si la cota de agua sigue cayendo, es preferible alargar la duración del bombeo. Para un ensayo de bombeo en etapas seguidas este descenso tiene menor importancia, ya que se realizará la corrección de la aspiración en la interpretación. Además, si el acuífero que se analiza tiene una transmisividad baja y el pozo un gran diámetro, el efecto de almacenamiento puede ser significativo (Figura 14.20) y la duración de los tiempos de bombeo deberían prolongarse de forma que $t \geq 25 \cdot r^2 / T$ donde r es el radio del pozo y T la transmisividad (Figura 14.21, *Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse*, 1990).

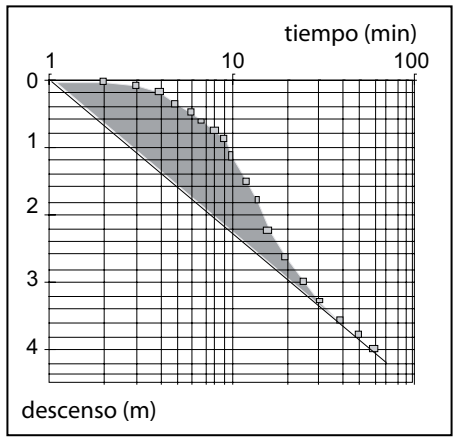


Figura 14.20:
Efecto de almacenamiento (retardo en la aspiración). El efecto está representado por la zona sombreada. El tiempo de bombeo ha de ser mayor de 60 minutos.

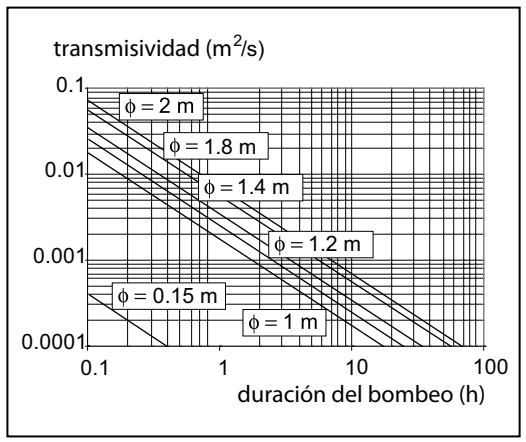


Figura 14.21:
Gráfico de diseño para evaluar el tiempo de bombeo al que el efecto de almacenamiento es teóricamente despreciable. El tiempo de bombeo ha de ser al menos diez veces superior al retraso debido al efecto de almacenamiento.

Es necesario que el número de fases se pueda ajustar. Por un lado, si el caudal del pozo es inferior a 2 ó 3 m^3/h, será difícil establecer tres intervalos de bombeo con un caudal creciente. Se podrían considerar, en este caso, dos intervalos de duración mayor de 3 horas, o incluso un solo intervalo de bombeo con una duración mínima de 4 horas. Se escoge el caudal de forma que el pozo no se agote. La observación de la recuperación del nivel freático dura al menos 2 horas, hasta que el nivel de agua se aproxima al nivel estático inicial. Por otra parte, si se ha infravalorado el caudal, siempre se pueden añadir fases adicionales.

3.1.3 ENSAYO DEL ACUÍFERO: DURACIÓN DEL BOMBEO

Existen numerosos parámetros que han de ser considerados a la hora de definir la duración del bombeo en un ensayo de acuífero. Los principales son el tipo de acuífero y el grado de exactitud que es necesario alcanzar.

No es recomendable economizar en la duración del bombeo y la regla general es continuar el bombeo hasta alcanzar un estado estacionario o cuasi-estacionario. Al comienzo del ensayo, el descenso del nivel es rápido y después de un tiempo lo hace mucho más lentamente. Esta estabilización aparente del nivel dinámico no es un régimen estacionario todavía y el cono de depresión seguirá extendiéndose lentamente hasta que la recarga del acuífero iguale el caudal de bombeo.

En condiciones normales, el régimen cuasi-estacionario se alcanza en un acuífero confinado al cabo de 24 horas, y en uno no confinado al cabo de 2 ó 3 días. Para un acuífero confinado se recomienda un bombeo de 48 horas mínimo, mientras que para uno no confinado la duración mínima sería de 72 horas.

3.1.4 NÚMERO Y POSICIÓN DE LOS PIEZÓMETROS

Los piezómetros utilizados para el seguimiento del nivel de agua son los denominados pozos de observación. Su número depende de la cantidad y del grado de exactitud necesario de los parámetros hidráulicos del acuífero (Tabla 14.XI). En el caso del ensayo de un pozo perforado, no es necesario recurrir a ningún piezómetro, ya que el nivel dinámico se mide en el mismo pozo que se ensaya. La transmisividad local del acuífero puede estimarse a partir del ensayo simple de un pozo con el método de recuperación Theis. Sin embargo, es necesario el piezómetro si se quiere estimar la capacidad de almacenamiento del acuífero, ya que no se puede realizar una estimación exacta solamente con los datos de un ensayo simple de un pozo.

Tabla 14.XI: Estimación del número y posicionamiento de los piezómetros requeridos.

Ensayo	Objetivo	Número de piezómetros	Distancia del pozo de bombeo
Pozo	Características del pozo	0	–
	Características del pozo + transmisividad local	1	10 m – 50 m
Acuífero	Caracterización hidráulica	1	20 m – 100 m
	Exactitud en la caracterización hidráulica	3	10 m – 200m

Para realizar un ensayo de acuífero, se necesita disponer de un piezómetro para estimar las características hidráulicas del acuífero y evitar la gran influencia que supone el bombeo (pérdidas de carga en el pozo bombeado). La ventaja de disponer de varios piezómetros es que la superficie observada del acuífero será mayor y además los descensos de nivel medidos con un mínimo de 3 piezómetros permitirán analizar la relación tiempo-descenso de nivel y la distancia-descenso de nivel.

Los piezómetros no deben colocarse ni demasiado próximos ni demasiado alejados del pozo. La distancia apropiada depende del cono de depresión que se desarrolla mientras se bombea y que puede estimarse fácilmente con unos cálculos previos utilizando un programa como AquiferTest Pro. La Figura 14.22 recoge la estimación del radio del cono de depresión de acuerdo con las características hidráulicas del acuífero.

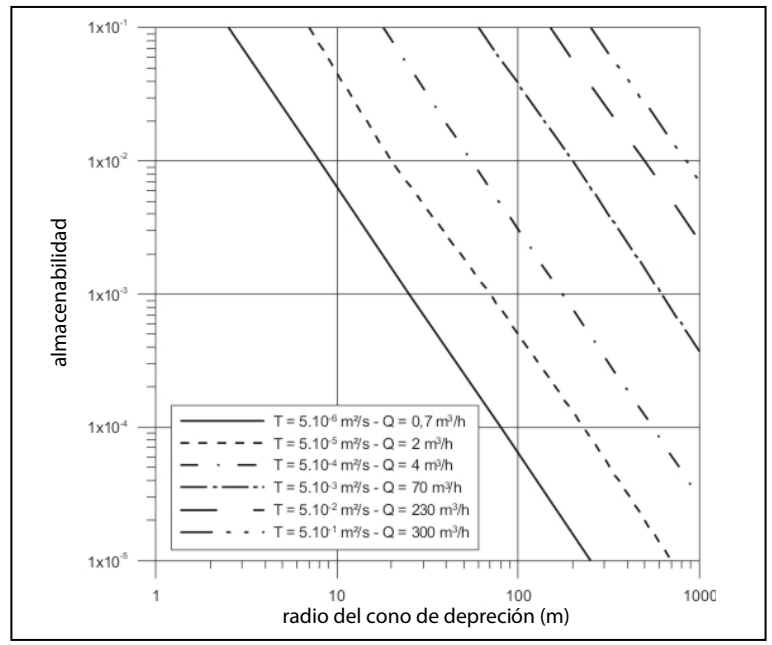


Figura 14.22:
Estimación del radio del cono de depresión después de 2 horas de bombeo.

3.2 Puesta en práctica del ensayo

3.2.1 VERIFICACIÓN DEL LUGAR

Se deben estudiar las condiciones de accesibilidad y la facilidad para instalar el equipo de bombeo (bomba y generador).

Es importante verificar que no se está explotando un pozo en las proximidades del área donde se sitúa el pozo a ensayar. Si este fuera el caso, la explotación debe parar (si es posible 24 horas antes del comienzo del ensayo) y cualquier pozo en funcionamiento puede ser utilizado como piezómetro durante el ensayo.

El agua bombeada debe ser depositada tan lejos como sea posible del pozo que se ensaya. Es posible que el agua obtenida pueda infiltrarse y recargue el acuífero, mostrando un falso caso de descenso de nivel estable. El punto de descarga debe ser escogido de acuerdo con las condiciones del terreno (especialmente la permeabilidad y el espesor del terreno), pero la salida debe estar como mínimo a 50 ó 100 m del pozo bombeado.

3.2.2 EQUIPO NECESARIO

ACF ha desarrollado un equipo de prueba para llevar a cabo todo el proceso de ensayo de pozos (Figura 14.23). En él se incluye el equipo necesario para el seguimiento.

Los elementos básicos necesarios son una cinta métrica de 3 m (para medir la altura de las marcas de referencia con respecto al nivel del suelo, el diámetro del pozo, etc.), una sonda piezométrica, dos cronómetros para medir el tiempo y un depósito calibrado para medir caudales.

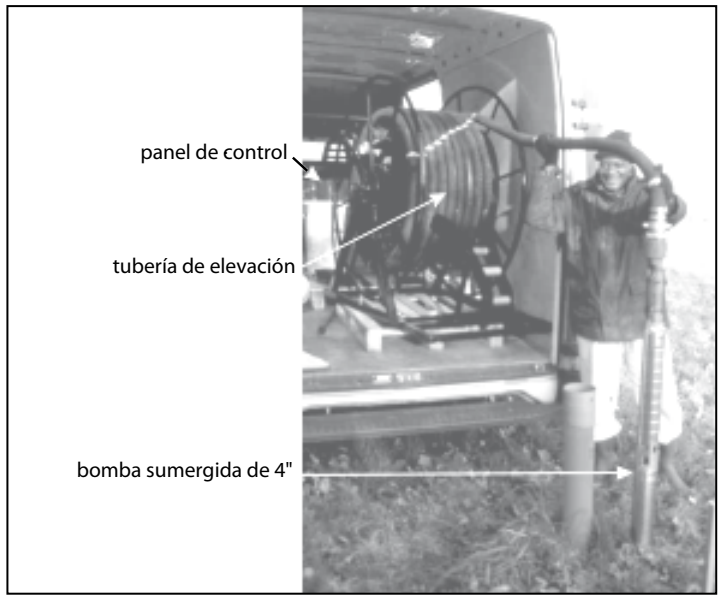


Figura 14.23:
Equipo de ensayo de bombeo de ACF.

Para obtener la suficiente exactitud en la medida de caudales, el tiempo de llenado del depósito debe estar entre 30 y 60 s (ver Capítulo IX). El uso de un aforador facilita enormemente la realización de las pruebas. Sin embargo, es aconsejable contrastar su exactitud con un depósito calibrado.

Durante el bombeo se deben medir de forma regular la conductividad, la temperatura y el pH del agua. En este sentido, se pueden mostrar los cambios en la calidad del agua, para después interpretarlos de forma conjunta con los cortes de terreno extraídos durante la perforación y el propio ensayo de bombeo.

3.2.3 EQUIPO HUMANO

Un equipo de tres personas es suficiente para llevar a cabo los ensayos más corrientes. El responsable del equipo será quien realice los gráficos, mientras que los dos operadores serán los encargados de montar el equipo y tomar las medidas (caudales, niveles de agua, tiempo, calidad del agua).

Un hidrogeólogo debe definir el tipo de ensayos y la interpretación de los datos.

3.2.4 SEGUIMIENTO DEL ENSAYO

Medidas

Durante el ensayo, es necesario tomar medidas de tiempo, nivel de agua y caudal. En el Anexo 9 se incluyen las hojas de recogida de datos. Las medidas de tiempo se toman de forma muy frecuente al comienzo de cada bombeo y del período de recuperación, su frecuencia se anota en las hojas de registro.

Para cada medida de tiempo, existe una medida correspondiente de nivel de agua. Antes del ensayo se mide el nivel estático y se marca. Esta marca se convierte en una referencia para todas las medidas durante el ensayo. Normalmente, esta marca de referencia es la parte superior del entubamiento del pozo perforado cuya altura con respecto al suelo también se anota. La punta de la sonda eléctrica se coloca unos cm por encima del nivel estático. Es muy aconsejable utilizar tubos guía (1" PVC o hierro galvanizado) para introducir la sonda en el pozo bombeado. Esto ayuda a evitar que la sonda choque y se ensucie con la tubería o el cable de la bomba.

Hay que tener el equipo para poder ajustar el caudal de forma sencilla, rápida y de la forma más precisa posible. La utilización de dos válvulas de regulación para la descarga puede ser importante. Estas válvulas se montan de acuerdo con los requerimientos de la pérdida de carga en la aspiración y el caudal. Se debe asegurar también una buena colocación del depósito calibrado: las medidas del caudal deben tomarse de la forma más sencilla posible sin modificar la pérdida de carga de la aspiración en cada medida.

Seguimiento

La curva s = f(t) se dibuja en un gráfico semi-logarítmico para cada intervalo de bombeo durante el ensayo. La curva se compara con las teóricas y si muestra algunas anomalías ayuda a decidir sobre el progreso del ensayo (ver Sección 1).

Mientras se lleve a cabo el ensayo, se debe ser flexible y adaptar el diseño del ensayo al comportamiento del pozo. Para conseguir una buena realización del ensayo se necesita un poco de sentido común, tiempos suficientemente largos de bombeo, caudales constantes y una descarga de la bomba suficientemente alejada de los pozos.

3.3 Informes

El informe del ensayo debe contener la siguiente información:

– un mapa donde se localicen los pozos (excavados y perforados);

– un resumen de las principales interpretaciones de los resultados y recomendaciones;

– un registro de la litología y los equipos de trabajo de los pozos perforados ensayados;

– diagramas de datos de campo y procesos de interpretación, p.ej. diagnóstico y gráficos específicos;

– tablas de medidas de campo.

CAPÍTULO XV

Aguas Subterráneas. Rehabilitación de pozos perforados

1	**Introducción**	395	3.1	Método	397
2	**Descripción de las causas del deterioro de un pozo perforado**	396	3.2	Análisis de los datos	398
			4	**Técnicas de intervención**	400
2.1	Corrosión electroquímica y bacteriana	396	4.1	Desarrollo	400
2.2	Obstrucción mecánica, química y biológica	396	4.2	Achique y perforación adicional	400
2.2.1	*Obstrucción mecánica*	396	4.3	Re-equipamiento	400
2.2.2	*Obstrucción química*	397	4.4	Desobstrucción	400
2.2.3	*Obstrucción biológica*	397	4.5	Rehabilitación de la obra de superficie	401
2.3	Erosión	397	**5**	**Mantenimiento preventivo**	402
3	**Diagnóstico**	397	**6**	**Abandono de pozo perforado**	402

1 INTRODUCCIÓN

Un pozo perforado es una estructura sujeta a procesos físicos, químicos y biológicos cuyos efectos dependen de la calidad de la construcción, del modo de operación y de las características del acuífero. El deterioro de un pozo perforado es inevitable, pero su intensidad y velocidad dependerán de los factores mencionados anteriormente y se caracterizará por una disminución del rendimiento (relación decreciente del rendimiento a la extracción) y de la calidad del agua obtenida. Puede conducir al abandono del pozo perforado. En muchas ocasiones la rehabilitación puede reducir el deterioro o incluso repararlo eficientemente.

La rehabilitación de un pozo perforado puede ser más barata que la construcción de uno nuevo. Se hace con mayor facilidad y rapidez y puede ser la solución ideal para casos de emergencia (no requiere la movilización de un equipo de perforación); sin embargo, si el pozo rehabilitado va a usarse durante largo tiempo, es importante estimar la duración (la rehabilitación de pozos perforados estropeados no es necesariamente una solución a largo plazo).

De hecho, la necesidad de rehabilitar un pozo perforado surge cuando:

– se detectan anomalías en un pozo perforado durante su operación (baja productividad, contaminación del agua);

– se lleva a cabo un programa de prospección (la rehabilitación y la perforación de pozos perforados nuevos son actividades complementarias generalmente);

– se lleva a cabo un proyecto de mantenimiento de bombas (trabajos pequeños de mantenimiento, tales como el desarrollo, se llevan a cabo simultáneamente en muchas ocasiones).

La decisión de rehabilitar depende de: las condiciones del pozo perforado existente, las causas del daño ocurrido, las alternativas técnicas y logísticas, otras opciones de abastecimiento que puedan existir (construir otros puntos de agua) y la opinión de los usuarios (consumidores y operadores). Según sea la severidad del problema, el trabajo requerido puede reducirse a: una simple reparación en superficie, a una operación de descolmatación, o a un re-equipamiento del pozo perforado.

2 DESCRIPCIÓN DE LAS CAUSAS DEL DETERIORO DE UN POZO PERFORADO

Los problemas que se encuentran dependen del tiempo que lleva en servicio el pozo perforado, de la calidad de la construcción, de las condiciones de operación y del contexto geológico (Tabla 15.I).

Tabla 15.I: Problemas y frecuencia de su aparición según el contexto geológico.

Acuífero (contexto)	Problemas corrientes	Frecuencia de aparición (frecuencia requerida del mantenimiento)
Aluvión	Obstrucción por arena arcillosa Precipitación de hierro Incrustación Obstrucción biológica	2 a 8 años
Arenisca	Obstrucción de las grietas Corrosión Penetración de arena y colmatación	6 a10 años
Calcita	Obstrucción por arcillas Precipitación de carbonatos	6 a12 años
Basáltico	Obstrucción por arcillas	6 a12 años
Metamórfico	Obstrucción por arcillas Mineralización de las grietas	12 a15 años

2.1 Corrosión electroquímica y bacteriana

La corrosión es un fenómeno químico que tiende a destruir un metal en un medio con el que no está en equilibrio. Los tubos metálicos son inestables en medio acuoso y se corroerán por la migración de iones positivos del metal hacia el agua. Hay reacciones químicas catalizadas frecuentemente por la actividad bacteriana.

En los pozos perforados, la corrosión puede afectar todos los componentes metálicos y no metálicos (como el hormigón y el mortero armado). Solamente los plásticos, los recubrimientos bituminosos y el acero inoxidable no están sujetos a la corrosión.

2.2 Obstrucción mecánica, química y biológica

La obstrucción (colmatación) es un fenómeno mecánico, químico o biológico que origina una reducción de la permeabilidad del terreno y aumenta las pérdidas de carga en el nivel de la admisión. La obstrucción química y biológica está relacionada directamente con fenómenos de corrosión.

La obstrucción de un pozo perforado reduce su rendimiento. Viene acompañada de depósitos cuya naturaleza está relacionada con el tipo de obstrucción.

2.2.1 OBSTRUCCIÓN MECÁNICA

Consiste en:

– *Entrada de arena y colmatación*: una entrada significativa de materiales finos en el pozo perforado que pueden llegar a llenar parcialmente la sección de entrada. La causa suele ser la instalación deficiente del pozo (los filtros no están bien centrados, la grava no se ha distribuido adecuadamente, la grava usada tiene un tamaño demasiado grande, las ranuras del filtro son demasiado grandes), una operación inadecuada del pozo perforado (desarrollo insuficiente, rendimiento de explotación mayor que el determinado con los ensayos de bombeo, los filtros quedan secos), o el desgaste (o rotura) de los filtros o de otros tubos.

– *Obstrucción del filtro de grava:* acumulación de materiales en el exterior del paquete de grava (obstrucción externa debida a material en suspensión de tamaño superior al de los poros del paquete de grava), o en el interior (obstrucción interna de la grava por la sedimentación escalonada de materiales en suspensión de tamaño superior al de algunos poros de la grava). Este tipo de obstrucción está causado por un desarrollo insuficiente, por bombear en exceso o por una grava de mala calidad. (tamaño de grano heterogéneo, granos de cantos vivos, etc.).

2.2.2 OBSTRUCCIÓN QUÍMICA

Viene causada por la precipitación de sales insolubles que obstruyen las ranuras de los filtros. Está causada básicamente por dejar seco el filtro y causa:

– *Incrustación o escamado*: precipitación de carbonatos por desprendimiento de O_2.

– *Depósitos de hierro*: precipitación de hidróxido de hierro (II) ($Fe(OH)_2$) debido al desprendimiento de CO_2, o precipitación de hidróxido de hierro (III) ($Fe(OH)_3$) por absorción de oxígeno.

2.2.3 OBSTRUCCIÓN BIOLÓGICA

Este tipo de obstrucción ocurre generalmente en capas de aluvión o poco profundas, y se origina por el desarrollo de unas bacterias que crean una película compacta y pegajosa que obstruye las ranuras.

La obstrucción por bacterias puede originarse por cambios naturales en el medio (p.ej. sequías o inundaciones con agua superficial rica en nutrientes) o por cambios llevados a cabo por el hombre (contaminación orgánica, elevación de la capa freática debida a la construcción de presas). Se producen también por dejar seco el filtro. Sin embargo, las bacterias asociadas al hierro y al manganeso generalmente están presentes de forma natural en aguas y suelos, y se desarrollan significativamente al hacer cambios en el pozo perforado, como por ejemplo los nutrientes añadidos por el agua durante el bombeo.

El desarrollo de bacterias, y por tanto, la obstrucción que puede tener lugar, afecta a la masa de grava, al filtro y a las formaciones de los alrededores en una extensión de varios metros.

2.3 Erosión

El filtro se puede desgastar por la abrasión cuando la velocidad del agua es alta (más de 3 cm/s). Esto se da básicamente porque el área abierta del filtro es insuficiente (proporciones incorrectas entre la apertura de las ranuras, el tamaño de grano de la grava y el del acuífero), una longitud del filtro insuficiente o posicionamiento incorrecto de la bomba en la zona del filtro (elevada velocidad del agua al nivel de la bomba y vibración de la bomba al arrancar, con lo que golpea el filtro).

3 DIAGNÓSTICO

El diagnóstico del pozo perforado es el primer paso en un programa de rehabilitación y se debe hacer con todo el cuidado. Su objeto es analizar la degradación que afecta al buen funcionamiento del pozo para comprender las causas y estimar la pertinencia de iniciar la rehabilitación.

3.1 Método

Se describen, a continuación, los pasos de un diagnóstico:

1 – Recogida de información inicial:

Con ella se definen las características del pozo perforado cuando se puso en funcionamiento y el uso que se ha hecho de él desde entonces:

– revisión del *registro de operación del pozo perforado*: fecha de construcción, condiciones geológicas, técnica de perforación, problemas durante la perforación, plan de entubación (para verificar el tipo y la posición del filtro), naturaleza y posición del paquete de grava, técnica de desarrollo usada y resultado de los ensayos de bombeo y análisis del agua;

– información general de los *operadores y usuarios*: profundidad de la bomba, rendimientos y horario de operación de la bomba, cambio del comportamiento del pozo perforado y de la calidad del agua bombeada (sabor, olor y color);

– en caso de *abandono*: investigar la causa y fecha del abandono.

Estos datos no son siempre fáciles de obtener, pero un examen rápido del pozo perforado permite complementar la información inicial (y verificarla).

2 – Examen rápido

Hay varios elementos que pueden verificarse con facilidad:

– turbidez ;
– contaminación fecal;
– conductividad;
– olor, color y sabor;
– sedimentos (prueba del cubo, ver Capítulo XIII);
– descenso del nivel estático;
– disminución de la profundidad del pozo;
– disminución de las producción (estimación del rendimiento y del nivel de agua durante el bombeo).

Esta información de campo y su comparación con los datos iniciales del pozo perforado permite un diagnóstico inicial rápido del estado del pozo y de las acciones a tomar.

Llegado este punto, hay que cuestionarse y justificar la necesidad de proceder con un diagnóstico en profundidad, ya que el trabajo requerido es laborioso y requiere tiempo, necesitando de instrumentos caros y altamente especializados, análisis de laboratorio y la movilización de recursos humanos y materiales. La decisión se tomará según el coste y la viabilidad de las operaciones a emprender y tras considerar la importancia de la rehabilitación como alternativa a otras soluciones.

3 – Uso de herramientas de inspección

Las herramientas usadas más corrientemente son las cámaras de video (sólo en agua limpia), que permiten detectar las zonas en las que el tubo está deteriorado y si los filtros están obstruidos, así como la presencia de incrustaciones, y diagrafía*, que permite conocer el estado de los tubos, de la cementación y, en ciertos contextos, del acuífero.

Nota: en ausencia de datos sobre el pozo perforado, es importante conocer la posición del filtro porque determina el posicionamiento de la bomba, la determinación del rendimiento de explotación y el proceso de desarrollo. La utilización de la diagrafía o cámara de video permite determinar todo esto con precisión.

*Diagrafía: registro de parámetros físicos, establecidos con técnicas de estudio, que permiten la obtención de información sobre la naturaleza y estructura de las rocas y su contenido.

4 – Pruebas de aforo y análisis de agua

Un ensayo de bombeo permite medir con precisión los parámetros hidrodinámicos del pozo perforado y calcular las pérdidas de carga, y determinar así su eficiencia (Capítulo XIV).

En paralelo con el ensayo de bombeo, es importante realizar un análisis de agua tan completo como sea posible, incluyendo el tamaño y naturaleza de las partículas en suspensión y los análisis físico-químicos (ver Capítulo V).

3.2 Análisis de los Datos

La Tabla 15.II resume los datos a recoger y analizar, y las acciones correspondiente que hay que planificar, para diseñar una operación de rehabilitación.

Tabla 15.II: Análisis, diagnóstico y técnicas de rehabilitación de pozos perforados.

Datos	Diagnóstico	Técnicas de rehabilitación
Análisis del caudal y de los niveles de agua (bombeos de prueba)		
Disminución de la profundidad del pozo	Intrusión de arena	Análisis de los depósitos para finalizar el diagnóstico
Disminución del rendimiento específico (rendimiento /nivel dinámico)	Obstrucción Intrusión de arena	Análisis de los depósitos para finalizar el diagnóstico
Descenso del nivel estático	Agotamiento del acuífero (fluctuación estacional o a largo plazo)	Si lo permite el acuífero: Reinstalación de la bomba (profundidad y/o modelo) Perforación adicional y reequipamiento o abandono
Calculo de la pérdida de carga cuadrática (C) en $m/m^3/s$:	Hay que considerar estos valores como órdenes de magnitud y tienen utilidad sólo cuando se comparan entre sí	Análisis de los depósitos para finalizar el diagnóstico
→ $C< 5 \times 10^{-3}$	No hay obstrucción	
→ $5 \times 10^{-3}<C<1 \times 10^{-4}$	Obstrucción posible	
→ $1 \times 10^{-4}<C<4 \times 10^{-4}$	Obstrucción total	
→ $C>4 \times 10^{-4}$	Pozo irrecuperable	
Análisis del agua		
Aumento de la conductividad Cambio de algún parámetro (temperatura, sulfatos, nitratos, etc.)	Perforación de los tubos Fallo de la cementación	Re-equipar o abandonar Rehacer la cementación
Aumento de la presencia de bacterias Alta turbidez	Nivel freático contaminado Corrosión	Abandonar Re-equipar o abandonar
Contaminación fecal	Equipamiento incorrecto Perforación de los tubos Problemas de la superestructura Fallo de cementación, grietas	Análisis de los depósitos para finalizar el diagnóstico Rehabilitación de las obras de la superficie
Análisis de los depósitos		
Arena de tamaño inferior al de las ranuras del filtro	Desarrollo incorrecto Equipo incorrecto	Achicar y desarrollar Achicar y re-equipar
Arena de tamaño superior al de las ranuras del filtro	Desgaste/rotura del filtro Rotura del entubamiento	Achicar y re-equipar o abandonar
Presencia de calcitas en forma de granos o grumos	Incrustaciones por precipitación de calcita (con posible corrosión)	Ver Sección 4.4
Presencia de hierro en forma de óxido	Corrosión del filtro (con posible obstrucción por precipitación del hierro)	Re-equipamiento (La protección contra la corrosión es difícil de poner en práctica en contextos de intervención humanitaria)
Presencia de geles, barro, precipitados u olores	Obstrucción bacteriana (con posible corrosión)	Ver Sección 4.4
Diagrafía		
Cámara de vídeo Imágenes acústicas	Obstrucción Rotura del entubamiento Incrustaciones Corrosión	Ver Sección 4.4 Re-equipamiento o abandono Ver Sección 4.4 Re-equipamiento o abandono
La técnica del registro eléctrico permite conocer el plan de entubamiento (con la posición del filtro).		

4 TÉCNICAS DE INTERVENCIÓN

Una vez obtenido el diagnóstico, es preciso estimar la viabilidad y coste de la rehabilitación. La decisión de rehabilitar o abandonar el pozo perforado se toma teniendo en cuenta lo que requiere la rehabilitación y las alternativas posibles.

4.1 Desarrollo

El desarrollo se realiza al principio y al final de cada rehabilitación. Permite limpiar el pozo perforado, resolver algunos problemas de obstrucción y evaluar la eficiencia del trabajo de rehabilitación. Las mejores técnicas son el soplado de aire ("air lift"), golpes de aire ("surging") y la inyección de chorros de aire ("jetting"), ver Capítulo XIII.

4.2 Achique y perforación adicional

La operación de achique pretende eliminar los depósitos acumulados en el fondo del pozo perforado que no pueden extraerse en el desarrollo (arcilla, arena, restos de rocas, etc.). La operación consiste en bajar un achicador en el interior del pozo, que recoge los materiales y los guarda por medio de un sistema de válvula de retención. El proceso puede dañar el entubamiento.

Si el pozo contiene materiales que no se pueden extraer por achique, se usa la perforación adicional. La técnica a usar depende si el pozo perforado tiene filtro o no.

Si no tiene filtro, se procede a perforar dentro del entubamiento con un diámetro menor o igual al inicial. Si está bloqueado con restos de roca de gran diámetro, siempre se podrá perforar con cable y herramientas o con un percutor (DTH) de fondo del tubo.

Si tiene filtro, es preciso perforar (por rotación o con cable y herramienta) con un taladro de diámetro inferior por dentro del entubamiento existente. Se usa una velocidad de progresión baja para extraer todos los sedimentos. Estas operaciones tienden a dañar el entubamiento y los filtros, por lo que es necesario a menudo re-equipar el pozo.

4.3 Re-equipamiento

El re-equipamiento consiste en colocar un entubamiento nuevo dentro del inicial. El entubamiento nuevo tiene un diámetro inferior en al menos 4 ó 6 cm, para permitir la instalación de un paquete de grava de suficiente espesor.

Esta operación reduce el diámetro del pozo e incrementa las pérdidas de carga (por la creación de interfases nuevas en el acuífero). Se hace la cementación como si se tratara de un pozo perforado nuevo.

4.4 Desobstrucción

El desarrollo puede resolver parcialmente algunos problemas de obstrucción, sin embargo, se requieren muy a menudo tratamientos químicos (con ácidos o con cloro). En general, por varias razones, se necesitará usar diferentes soluciones (tratamiento mixto), véase la Tabla 15.III.

Tabla 15.III: Tratamientos para pozos perforados obstruidos.

Tratamiento con ácidos	Tratamiento con polifosfatos	Tratamiento con cloro	Desarrollo
↓	↓	↓	↓
Depósitos de carbonatos y sulfatos	Precipitación de compuestos de hierro y manganeso	Obstrucción por materia creada por bacterias (bio-obstrucción)	Obstrucción por finos

El principio consiste en introducir en el pozo una solución que actuará sobre el filtro, el paquete de grava y los alrededores del acuífero durante algún tiempo. El agua se agita durante el tiempo de contacto para mejorar la eficiencia del método. Al final del tratamiento se realiza una prueba de bombeo de larga duración para eliminar toda traza del producto químico usado. El proceso se resume en la Tabla 15.IV.

Tabla 15.IV: Proceso de tratamiento con productos químicos.

Pasos	Tratamiento con ácidos	Tratamiento con polifosfatos	Tratamiento con cloro
Medir el pH inicial	X	X	
Preparar la solución madre (1,5 ó 2 veces el volumen del filtro)	X	X	X
Verter la solución en el pozo con un tubo de PVC (la mitad en la parte superior del filtro y el resto en el fondo)	X	X	X
Agitar la solución durante 2 horas soplando aire	X		
Realizar un proceso de desarrollo (chorro continuo de aire o impulsos) durante 12 ó 24 horas		X	X
Bombear para eliminar todos los productos químicos	X	X	X
Verificar si el agua tiene el pH o el nivel de cloro iniciales	X	X	
Medir el nivel de cloro libre residual			X

Tratamiento con ácidos: Los ácidos usados normalmente son el *clorhídrico y el sulfámico*. Ha de tenerse en cuenta que se debe evitar el ácido clorhídrico cuando los filtros son metálicos (especialmente si son de zinc o de acero galvanizado). Además el ácido *sulfámico* es más eficiente generalmente que el ácido clorhídrico.

El ácido clorhídrico usado generalmente es el de 30% en peso. El ácido sulfámico, que se vende en forma de cristales sólidos, ha de disolverse en agua (200 g de cristales por litro de agua a 15ºC, a 30ºC se disuelven 260 g por litro de agua).

Nota: se ha de tener mucho cuidado con el manejo de los ácidos (guantes, ropa adecuada, gafas, mascarilla) y se han de observar las regulaciones locales al respecto.

Tratamiento con polifosfatos: los polifosfatos que se usan son derivados del fosfato sódico sólido o en forma de polvo. La dosis a usar se hace disolviendo de 2 a 4 kg de producto en 100 litros de agua. Hay que tener en cuenta que es muy efectivo añadir cloro a la solución de polifosfato, del orden de 120 a 150 gramos de HTH en los 100 litros de agua, para combinar los efectos de ambos productos.

Tratamiento con cloro: la concentración oscila entre 1 000 y 2 000 mg/l de cloro activo, y los volúmenes de soluciones a usar dependen del volumen de agua a tratar en el acuífero. Se supone en principio que el volumen a usar es, al menos, cinco veces mayor que el volumen de agua en el pozo. La solución de cloro y el agua a tratar se han de mezclar bien y el tiempo mínimo de contacto ha de ser de 12 horas.

4.5 Rehabilitación de la obra de superficie

Para la rehabilitación de las obras de superficie se debe tener en cuenta si el deterioro es evidente o si se construyó de forma deficiente. Dependiendo de su estado puede ser más conveniente demoler lo construido que repararlo (poner una capa nueva de cemento sobre una estructura que no está en buenas condiciones no proporcionará una estructura sólida y duradera y se deteriorará con rapidez). Si se han de hacer reparaciones en una estructura de hormigón, las superficies a reparar se han de raspar adecuadamente para asegurar la cohesión y se han de hacer agujeros para anclar bien la nueva capa de hormigón o mortero.

La rehabilitación se lleva a cabo con los procedimientos normales para construir la obra civil en la superficie de un pozo perforado (ver Capítulo XIII), teniendo en cuenta las causas del deterioro observado (erosión natural, desgaste por personas o animales, falta de adecuación a las necesidades y hábitos de la población, etc.).

5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Es conveniente prever los problemas de degradación debidos a la edad para retardar el deterioro de los pozos perforados. Además de los temas relacionados con la construcción del pozo (elección de los materiales, posicionamiento de los tubos, calidad de la cementación), un uso razonable y el mantenimiento regular disminuyen y minimizan los problemas del deterioro.

Uso: para tener un máximo de duración y retrasar la aparición de las consecuencias del envejecimiento, es preciso tener en cuenta lo siguiente:

– Evitar las arrancadas frecuentes y largos períodos de bombeo 24h/24h.

– No sobrepasar el rendimiento máximo de explotación.

– Procurar que no descienda el nivel de agua por debajo del filtro.

– Mantenimiento periódico y seguimiento: mantenimiento del sistema de bombeo y de la obra de superficie.

– Cada año: analizar completamente el agua (bacteriológico y fisicoquímico), seguimiento del sistema de bombeo.

– Cada 3 ó 5 años: ensayo de bombeo, extraer e inspeccionar completamente el eje principal y medir la profundidad total del pozo.

6 ABANDONO DE POZO PERFORADO

Cuando la rehabilitación de un pozo perforado no es factible (por razones técnicas o económicas), es preciso obstruirlo de forma que sea impermeable para evitar la contaminación del acuífero. Para conseguirlo, es preciso taponar la totalidad de la columna del pozo (no solo la superficie) con lechada de cemento. Para garantizar que se llena la totalidad, hay que verter la lechada con un tubo empezando por el fondo y extrayendo el tubo poco a poco, en vez de verterlo simplemente por la boca del pozo y dejar que se escurra hasta el fondo. Esta misma técnica debe aplicarse también a todo pozo perforado negativo (sin producción) que haya penetrado hasta el acuífero.

Nota: La decisión de sellar un pozo perforado permanentemente no se debe tomar solamente sobre la base de las condiciones del momento, hay que considerar también las posibilidades técnicas y económicas de la rehabilitación en un futuro. Especialmente, pozos profundos o en zonas aisladas no se deben sellar sin un examen exhaustivo. En todo caso, esta operación no debe hacerse sin el acuerdo de los usuarios y operadores.

Aguas subterráneas. Pozos combinados

1	**Pozo central combinado**	403	1.2	Recursos Necesarios	404
1.1	Implementación	403	*1.2.1*	*Recursos humanos*	404
1.1.1	*Perforación del pozo*	403	*1.2.2*	*Coste de un pozo perforado y un pozo excavado*	405
1.1.2	*Excavación del pozo*	404	**2**	**Pozo lateral combinado**	406
1.1.3	*Planificación*	404	2.1	Implementación	406

Un pozo combinado es un pozo excavado alimentado por un pozo perforado que alcanza un acuífero confinado. Esto permite la explotación de un acuífero profundo con un nivel estático cercano a la superficie sin necesidad de excavar un pozo muy profundo. El pozo excavado funciona entonces como tanque de almacenamiento que se rellena cuando no está en explotación (Capítulo XII). Esta solución puede ser útil cuando el rendimiento del pozo perforado es bajo, ya que al actuar el pozo excavado de tanque de almacenamiento, el caudal extraíble es superior al que proporcionaría únicamente el pozo perforado. Finalmente, los pozos combinados no requieren la instalación de bombas cuando las condiciones locales sociales y económicas no lo permiten, pero suministran de todos modos agua de buena calidad.

Es relativamente sencillo llevar a cabo este tipo de trabajos, excavando un pozo bien alrededor del entubamiento de un pozo perforado (pozo central combinado) o a su lado (pozo lateral combinado).

Se han excavado muchos pozos perforados inicialmente con un equipo ACF-PAT 201 y 301 en Asia, en formaciones sedimentarias conteniendo acuíferos confinados de nivel estático próximo a la superficie. Los pozos combinados se dotan entonces de bombas manuales VN6 (nivel estático sobre los 6 m), o se dejan destapados (extracción con un cubo), o se hace un shaduf (ver Capítulo XII). A continuación se indican los aspectos técnicos y económicos de este tipo de programas, tomados de programas llevados a cabo por ACF en Camboya y Birmania durante varios años.

Desde 1996, ACF ha construido también pozos combinados en el norte de Malí, que se han dotado de sistemas tradicionales de extracción de agua para permitir a las poblaciones pastorales la explotación de recursos acuíferos profundos sin depender de bombas motorizadas. Los pozos perforados alcanzan en promedio los 110 m de profundidad y los pozos excavados, construidos al lado de los perforados, son de 50 a 70 m de profundidad.

1 POZO CENTRAL COMBINADO

1.1 Implementación

1.1.1 PERFORACIÓN DEL POZO

El pozo perforado está dotado de un entubamiento de 2” (Birmania) o 4” (Camboya). El paquete de grava se instala alrededor del filtro, terminado superiormente con un tapón de arcilla y cemento para evitar contaminaciones desde la superficie.

La profundidad media de estos pozos perforados es de 15 a 30 m. Se perforaron con un equipo ACF-PAT 201 en formaciones no consolidadas (arenisca, arcillas compactas).

1.1.2 EXCAVACIÓN DEL POZO

El pozo se excava alrededor de la perforación con un diámetro de 1,2 m hasta una profundidad mínima de 2,5 m por debajo del nivel estático del agua localizada por el pozo perforado (el más bajo durante la estación seca). Para cada diámetro del pozo, la profundidad se elige en base a criterios técnicos (obtenidos en los ensayos de bombeo, ver Capítulo XIV) y humanos (necesidades diarias, ritmo de extracción de agua).

En Birmania, se forjan en el terreno con una antelación de una semana anillos de cemento para el pozo con un diámetro de 1 m (altura de 0,5 m). El disco del fondo del pozo se forja con hormigón armado (espesor de 10 cm) sobre una cimentación compactada para soportar la columna de anillos que se apilan hasta la superficie. Para asegurar la estanqueidad en los casos en que el pozo se llena con gran cantidad de agua, se usa cemento rápido para enlucir la pared interior del entubamiento (ver Figura 16.1).

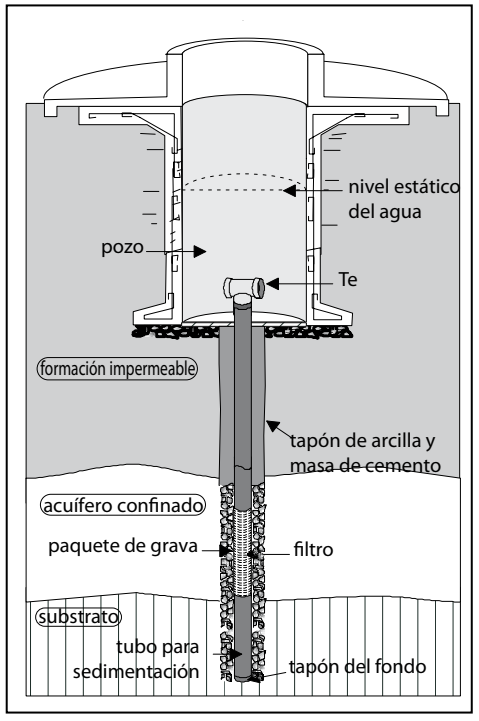


Figura 16.1: Pozo central combinado (ACF, Camboya, 1998).

En Camboya, la construcción del pozo excavado se hace con la técnica del entibamiento ascendente (ver Capítulo XII). La camisa del pozo perforado se corta 0,5 m sobre el disco del fondo Para evitar que la apertura del entubamiento quede orientada hacia arriba y limitar la penetración de materia extraña en la perforación, se pone una T al final del tubo. Se llevan a cabo entonces los trabajos de superficie (brocal, cubeto-faldón y desagüe).

1.1.3 PLANIFICACIÓN

En la Tabla 16.I se da un ejemplo de tiempo de construcción.

Tabla 16.I: Tiempo necesario para construir un pozo central combinado.

	Semana 1	Semana 2	Semana 3
Perforación y desarrollo			
Forjado de anillos para el pozo			
Excavación del pozo			
Disco del fondo y entibado			
Trabajos de superficie			

1.2 Recursos Necesarios

1.2.1 RECURSOS HUMANOS

Los recursos humanos son los mismos que se necesitan para excavar un pozo y perforar otro, Tabla 16.II (ver también Capítulos XII y XIII).

Tabla 16.II: Recursos humanos (ACF, Birmania, 1997).

	Salario mensual indicativo (US$)
Equipo para el pozo perforado	
1 geólogo	200-250
1 operador de perforación	150-250
1 asistente al operador	100-150
1 mecánico	100-150
3 peones	40-80
1 conductor	60-80
Equipo para el pozo excavado	
1 jefe de operación	150-200
1 asistente	100-150
5 peones	40-80
1 conductor	60-80

1.2.2 COSTE DE UN POZO PERFORADO Y UN POZO EXCAVADO

La Tabla 16.III muestra un ejemplo de los costes de materiales necesarios para construir un pozo combinado.

Tabla 16.III: Coste de materiales de un pozo combinado (ACF, Camboya, 1997).

Descripción	Unidades	Cantidad	Coste unitario (US$)	Coste total (US$)
POZO PERFORADO DE 25 m				
Tubo de PVC de 2" (63 mm ext.)	pcs 3 m	7	8	56
Filtro 2"	pcs 3 m	1	9	9
Tapón 2"	pcs	1	1	1
T	pcs	1	2	2
Empalmes 2"	pcs	10	1	10
Grava para filtro	m^3	0,3	20	6
Cemento	sacos 50 kg	3	7	21
Cemento	kg	3	1,5	4,5
GLP	l	90	0,5	45
Gasolina	l	10	0,4	4
Coste total				**158,5**
POZO EXCAVADO 1 m de DIÁMETRO Y 6 m de PROFUNDIDAD				
Cemento	sacos 50 kg	62	7	434
Arena	m^3	4	5,5	22
Grava	m^3	6	5,5	33
Piedras	m^3	3	7	21
Ladrillos (cubeto-faldón, desagüe)	m^3	200	0,04	8
Barras refuerzo de 8-mm	m	200	0,4	80
Barras refuerzo de 6-mm	m	400	0,3	120
Alambre	kg	7	2	14
Coste total				**732**
TOTAL GENERAL				**990,5**

2 POZO LATERAL COMBINADO

Otro diseño consiste en excavar un pozo al lado de un pozo perforado (ver Figura 16.2). Puede ser algo más complicado, pero presenta las siguientes ventajas:

– tiene dos puntos distintos de suministro de agua, uno de agua potable para beber (el agua del pozo perforado) y otro para abrevar el ganado (agua extraída por métodos tradicionales del pozo excavado);

– en caso de pozos profundos con riesgo de intrusión de arena (por la forma tradicional de extraer el agua, arena arrastrada por el viento, etc.), siempre será posible usar algún equipo para limpiar el pozo con un achicador, lo que es imposible en un pozo central combinado sin el riesgo de deteriorar la conexión entre los dos;

– el pozo perforado permanece disponible para mantenimiento y desarrollo.

En el Sahel, el pozo excavado está conectado generalmente al pozo perforado por conexiones laterales, pero esta conexión sólo se puede hacer si el suelo es lo suficientemente estable como para hacer túneles horizontales de hasta 2 m.

2.1 Implementación

Para facilitar la conexión, el pozo se ha de excavar a aproximadamente 1 m del pozo perforado. El conocimiento de la desviación vertical del pozo perforado permitirá conocer con exactitud el sitio donde excavar. Esta información se puede recabar de los archivos de la perforación.

Los ensayos de bombeo determinan el rendimiento y el nivel dinámico, lo que permite determinar la profundidad de la conexión (ver Capítulo XIV). El estudio del registro geológico obtenido durante la perforación, confirmará la posibilidad de construir la conexión a esta profundidad (suelo estable, no arenoso). En caso de inestabilidad, la conexión se debe hacer a mayor profundidad (si es aceptable económicamente) o se excava el pozo alrededor de la perforación, ver Sección 1.

Una vez decidida la profundidad de la conexión, el pozo se puede excavar con el método normal, hasta una profundidad de 1,5 m por debajo de la conexión, para permitir la sedimentación de sólidos en agua por debajo del nivel de la conexión y protegerla así de la obstrucción por estos sedimentos.

La conexión con el pozo perforado es la parte crucial de la construcción. Esta conexión se ha de hacer con cuidado extremo para asegurar la duración del pozo combinado. La nivelación se lleva a cabo en el pozo excavado, verticalmente usando una plomada, y horizontalmente teniendo en cuenta la estimación de la distancia y los factores geológicos.

Se excava entonces horizontalmente un túnel de 1 m de longitud y 0,60 m de altura, para despejar un espacio alrededor del entubamiento y poder realizar la conexión. Una vez alcanzado el entubamiento, hay varias alternativas posibles, el objetivo es siempre realizar una conexión estanca entre el entubamiento y el pozo para protegerlo de elementos extraños que puedan contaminarlo u obstruirlo.

En Malí la conexión se hace con secciones prefabricadas de elementos de hormigón armado de 0,60 x 0,40 x 0,20 m (largo x alto x ancho) y 5 cm de espesor. Esta solución tiene la ventaja de usar elementos prefabricados listos para usar, teniendo en cuenta que puede ser difícil verter hormigón en un túnel en el que está entrando agua. Las secciones prefabricadas se van colocando hacia atrás desde el pozo perforado, con la primera cerrando la parte posterior del pozo perforado para asegurar la estanqueidad. Las secciones se atan entre ellas con grapas y luego se aplica un enfoscado de hormigón en la parte inferior y por el interior para dar solidez y estanqueidad. El túnel se enfosca también con mortero yendo hacia atrás respecto del pozo perforado. Las barras de refuerzo de la última sección del cajón sobresalen para permitir su unión a las barras del entibamiento del pozo excavado que se habrán mantenido así durante la excavación. La preocupación principal es la estanqueidad de la estructura. Siempre es posible verter el hormigón en moldes de madera. El uso de acelerantes del tipo Sicalatex mejorará la calidad del hormigón.

Otra solución consiste en conectar el entubamiento del pozo perforado a otro tubo que lleva el agua directamente al pozo sin ningún túnel.

Al terminar la conexión es preferible esperar algunos días antes de dejar entrar el agua para que fragüe bien el hormigón. Hay dos maneras de abrir la conexión, bien perforando directamente el entubamiento (con una herramienta especial), o instalando un collarín con válvula (“ferrule strip”).

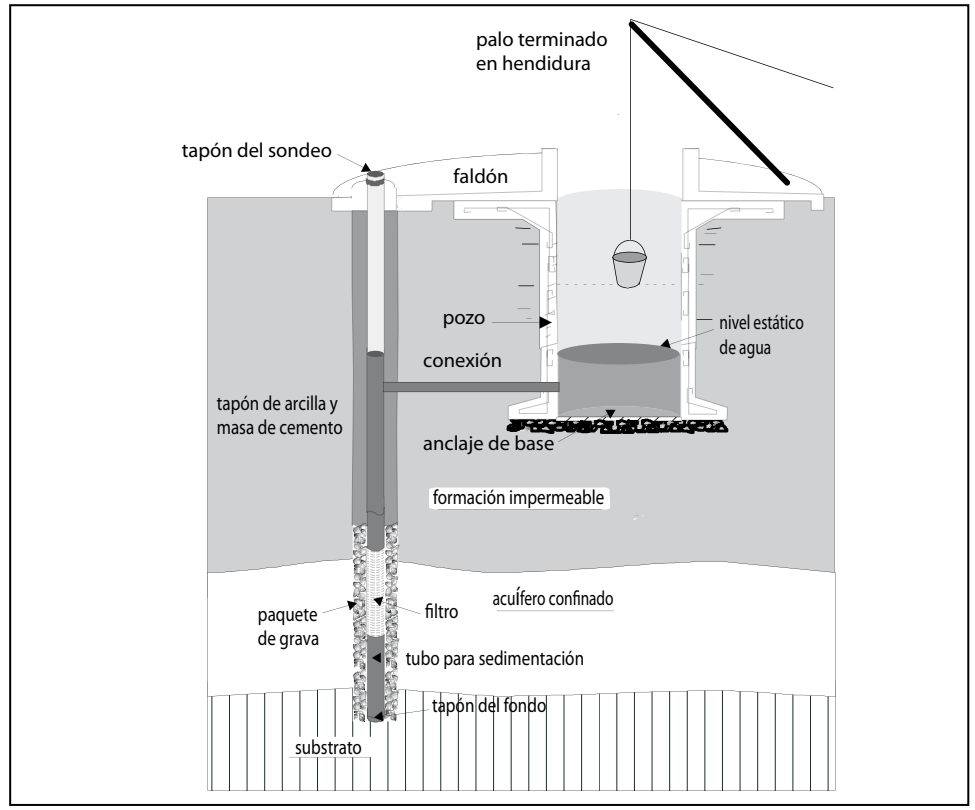


Figura 16.2: Pozo lateral combinado (ACF, Malí, 2003).

III

Abastecimiento de agua

CAPÍTULO XVII

Sistemas de bombeo

1 General 412
2 Bombas motorizadas 412
2.1 Principios de funcionamiento de las bombas centrífugas 413
2.2 Estanqueidad de una bomba centrífuga 413
3 Consideraciones hidráulicas del bombeo 414
3.1 Energía 414
3.2 Aspiración 414
3.3 Caudal y Altura Manométrica Total (TMH, "Total Manometric Head") 415
3.3.1 Curva característica de una bomba 415
3.3.2 Pérdidas de carga 417
3.4 Punto de funcionamiento en un sistema de tuberías 417
3.5 Curvas características particulares 418
3.5.1 Efecto de la velocidad del rotor 418
3.5.2 Estrangulamiento de la descarga 418
3.5.3 Montaje de dos bombas idénticas en serie (cascada) 418
3.5.4 Montaje de dos bombas idénticas en paralelo 419
3.5.5 Montaje de dos bombas diferentes 420
4 Elección de una bomba motorizada 420
4.1 Bomba centrífuga con motor montada en superficie 420
4.2 Bombas eléctricas sumergidas 422
5 Suministro eléctrico 423
5.1 Energía y corriente 423
5.1.1 Rendimiento 423
5.1.2 Potencia eléctrica 423
5.1.3 Corriente (Intensidad) y voltaje 423
5.1.3.1 Corriente nominal absorbida por el motor 424
5.1.3.2 Corriente de arrancada y potencia necesaria 424
5.1.3.3 Caída de voltaje 424
5.2 Selección del generador 425
5.2.1 Cálculo teórico de la potencia (motor y generador) 425
5.2.2 Cálculos empíricos 425
6 Bombas de achique 426
6.1 Principios y materiales 426
6.2 Bombas eléctricas de achique 426
6.3 Bombas neumáticas 426
7 Bombas de energía renovable 427
7.1 Bombeo con energía solar 428
7.1.1 Energía solar 428
7.1.2 Diseño de la estación de bombeo solar 428
7.1.2.1 Principio 428
7.1.2.2 Ejemplo de una estación de bombeo 429
7.2 Energía hidráulica 430
7.2.1 Velocidad de rotación de la bomba 431
7.2.2 Prueba de funcionamiento 431
7.2.3 Componentes necesarios para el montaje de una bomba Garman 431
8 Bombas manuales 432
8.1 Tipos principales de bombas manuales 432
8.2 Bombas de pistón 433
8.2.1 Bombas sumergidas 433
8.2.2 Bombas aspirantes 437
8.3 Bombas hidráulicas 437
8.4 Bombas de tornillo 438
8.5 Bomba de Mecate 439
8.6 Bomba a pedales 440
9 Bomba de ariete hidráulica 441
9.1 Presentación de la tecnología de una bomba de ariete hidraúlica 441
9.1.1 La bomba 441
9.1.2 El golpe de ariete 441
9.1.3 Funcionamiento de la bomba de ariete 442
9.1.4 La bomba de ariete desarrollada por ACF-Indonesia en 2007/2008 443

La elección de un sistema de bombeo se debe hacer teniendo en cuenta no sólo las limitaciones técnicas (tipo de bomba, energía, altura manométrica, caudal, turbidez) sino también las limitaciones que impone el contexto socio-económico (sistema de bombeo apropiado, disponibilidad de piezas, facilidad de mantenimiento). Este capítulo presenta los antecedentes teóricos para la elección e instalación de una bomba en intervenciones a medio y largo plazo, recogiendo, además, ejemplos prácticos.

1 GENERAL

La Tabla 17.I muestra los tipos de bomba más utilizados. Todas las bombas constan de los siguientes tres elementos:

– el motor, que proporciona la potencia necesaria para el bombeo;
– la transmisión, que comunica la energía motriz al componente hidráulico;
– el componente hidráulico, que transmite la energía al agua con el fin de impulsarla.

La tabla 17.II muestra el principio de funcionamiento de los distintos tipos de bomba.

Tabla 17.I: Tipos de bomba.

Tipo de bomba	Aplicación normal	Tecnología
Manual	pozos excavados y perforados	Bomba aspirante montada en superficie → émbolo Bomba impelente media y alta con el componente hidráulico sumergido (también hay modelos motorizados) → émbolo → globo hidráulico → de tornillo (también hay modelos motorizados)
Eléctrica sumergida	pozos excavados y perforados para caudales > 2m³/h y ensayos de bombeo	bomba de elevación → centrífuga multietapa
Bomba de achique	achique en excavaciones (excavación por debajo del nivel freático) bombeo de agua superficial	elevación o aspiración-elevación → centrífuga → membrana neumática
Bomba motorizada montada en superficie	bombeo de agua superficial bombeo del tanque a una red o a otro depósito	aspiración-elevación, aspiración limitada a 7 m de altura → centrífuga

2 BOMBAS MOTORIZADAS

Existen dos tipos principales de bombas con motor, la centrífuga y la volumétrica. Las bombas volumétricas son las indicadas para pequeños caudales a gran presión (p.ej. lavados a alta presión).

Tabla 17.II: Principios de funcionamiento para las bombas más utilizadas.

	Impulsión	Transmisión	Transmisión
Manual	a mano a pie	mecánica (varilla y palanca) hidráulica (tubo de agua)	bomba volumétrica (con émbolo sumergido o no sumergido, o de globo)
Motorizada montada en superficie	motor de combustión interna (diesel, gasolina) conexión directa o vía generador & motor	eje y rodamiento	bomba centrífuga
Bomba eléctrica (neumática)	motor eléctrico	eje	bomba centrífuga multietapa
Bomba de achique (neumática)	compresor	tubo de aire comprimido	bomba volumétrica (membrana)

Para el servicio de agua potable, las bombas volumétricas más utilizadas son las manuales (ver Sección 8).

2.1 Principios de funcionamiento de las bombas centrífugas

Las bombas centrífugas pertenecen a la familia de las bombas de turbina (Figura 17.1). Estas bombas disponen de un rotor de hélices o álabes que mediante un movimiento de rotación, transmite energía cinética al fluido, transformando parte de la misma en presión al reducir la velocidad en el estator (Figuras 17.2 y 17.3).

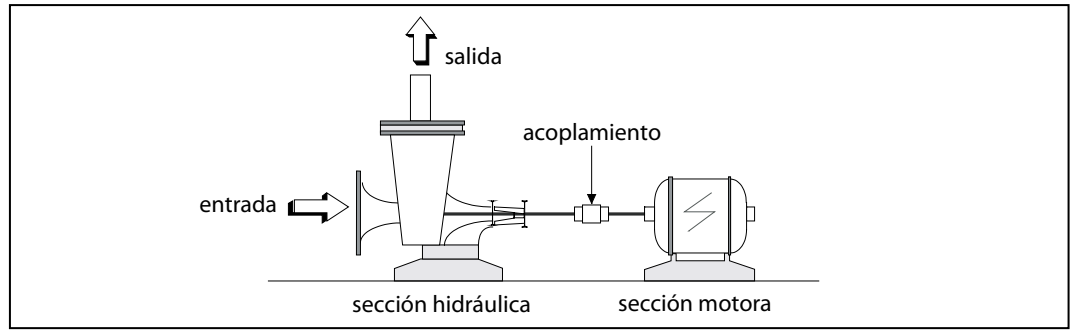


Figura 17.1: Bomba centrífuga eléctrica (montada en superficie).

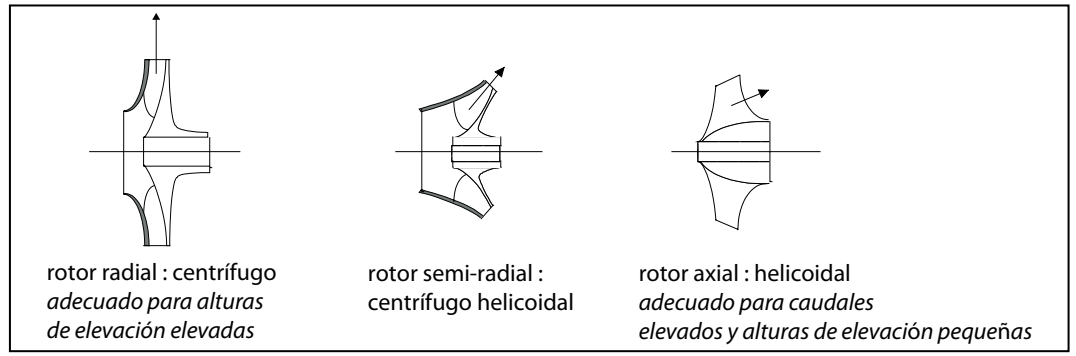


Figura 17.2: Diseños de rotores de turbo-bombas.

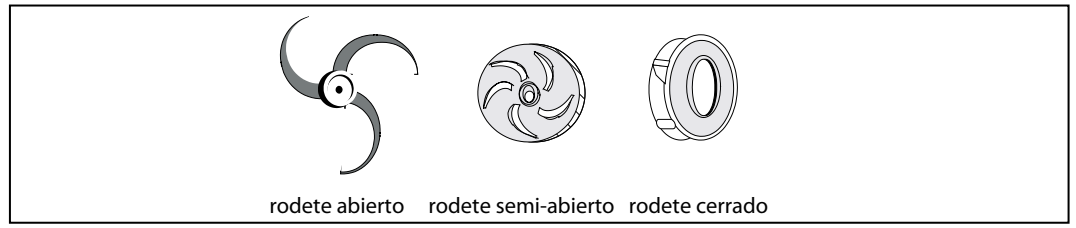


Figura 17.3: Diseños de rotores en bombas centrífugas.

La energía que mueve el eje puede transmitirse por un motor de combustión interna, un motor eléctrico (montado en superficie o sumergido), o por cualquier otro mecanismo como, p. ej., una turbina en un río.

2.2 Estanqueidad de una bomba centrífuga

El eje de impulsión atraviesa el cuerpo de la bomba, dentro del cual gira el rotor, por un sistema sellado que consta de un material (grafito) que envuelve el eje y se mantiene en su sitio gracias a una funda estanca.

El sello no es nunca perfecto y siempre existen pequeñas fugas que lubrican y enfrían el eje. Por ello, el sistema de sellado no debe ajustarse demasiado, ya que se estropearía rápidamente. Una vez que el material de sellado se desgasta se puede añadir más sin retirar el antiguo.

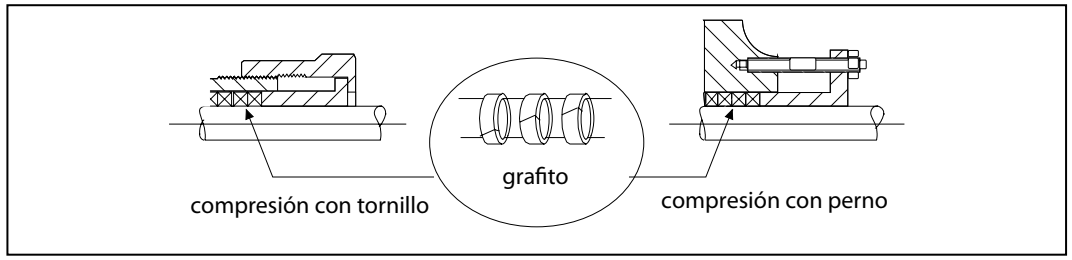


Figura 17.4: Empaquetadura.

3 CONSIDERACIONES HIDRÁULICAS DEL BOMBEO

3.1 Energía

Para impulsar una cierta cantidad de agua desde un punto a otro, la bomba debe transmitir energía al agua. Esta cantidad de energía es la misma, cualquiera que sea la tecnología de la bomba, y viene suministrada por el mecanismo de accionamiento de la bomba. Esta energía se calcula con el teorema de Bernoulli (ver Anexo 12), teniendo en cuenta todos los parámetros del equilibrio energético del sistema, como la altura de la bomba, pérdida de carga, longitud y diámetro de tuberías. En la práctica, sin embargo, para simplificar los cálculos se utilizan dos parámetros que caracterizan cualquier sistema de bombeo: el caudal (Q) y la carga hidrostática manométrica total (Altura Manométrica Total – "Total Manometric Head", TMH) (ver sección 3.3 para la definición de TMH). Con la ecuación siguiente se obtiene la energía absorbida por el eje de la bomba (el peso específico del agua es 1):

$$P_{ef} = \frac{Q \times TMH}{367 \times \eta}$$

donde P_{ef} es la energía efectiva (kW, 1 kW = 1,36 CV), TMH la altura manométrica total (expresada en metros de columna de agua), Q el caudal (m^3/h) y η el rendimiento de la bomba. El rendimiento óptimo (entre 0,8 y 0,9) se encuentra en el rango de trabajo de la bomba (la curva de rendimiento la suministra el fabricante).

La energía motriz necesaria para impulsar la sección hidráulica siempre es mayor que la absorbida por el eje, debido a las pérdidas de la transmisión, márgenes de cálculo, pérdidas de carga de la bomba y el par de arranque.

3.2 Aspiración

La altura de aspiración de una bomba está limitada teóricamente a 10,33 m, que corresponde a la presión de aspiración necesaria para crear el vacío (expresada en altura de columna de agua a la presión atmosférica normal) dentro de la tubería y elevar así el agua.

Sin embargo, en la práctica la altura es menor, porque parte de la presión se usa para transmitir velocidad al agua y parte se absorbe en las pérdidas de carga dentro de la tubería de aspiración.

Además, la presión de aspiración en el interior de la tubería no puede ser inferior a la tensión de vapor del agua correspondiente a la temperatura a la que se encuentra (habría evaporación del agua). Para las bombas de agua potable (a temperatura menor de 20ºC) la tensión de vapor del agua es aproximadamente de 0,20 m de columna de agua, por encima de este punto existe el riesgo de que se originen burbujas de vapor de agua. Estas burbujas que se pueden formar de esta manera en la tubería de aspiración se re-comprimen dentro de la bomba causando un deterioro excesivo del rotor. Este fenómeno, conocido como cavitación, reduce la eficacia de la bomba, y produce un ruido característico originado por la implosión de las burbujas de vapor de agua. Teóricamente a la presión necesaria para mover el agua (a 20°C):

Carga de la aspiración = 10,33 – 0,2 J (pérdidas de carga)

Generalmente, la capacidad de aspiración de una bomba montada en superficie, dependiendo de sus características y condiciones de instalación, viene dada por el NPSH ("net positive suction head", carga neta positiva de aspiración). El fabricante proporciona este parámetro que depende del caudal de descarga de la bomba y de las condiciones de la instalación. La suma de la carga estática (Tabla 17.III), más las pérdidas de carga de la aspiración debe estar siempre por debajo del valor de NPSH requerido para la bomba.

Si el caudal y la presión de trabajo requieren un valor de NPSH superior al de una bomba montada en superficie, será preciso usar una bomba sumergible para elevar el agua.

Sin embargo, a igualdad de parámetros y condiciones, la carga de succión tiene también su efecto sobre la carga hidrostática total.

Las bombas de aspiración con un eyector hidráulico son un tipo especial de bombas de aspiración de superficie capaces de elevar el agua por encima de la carga de aspiración teórica. Una parte del agua que saca la bomba se bombea de vuelta al eyector hidráulico (segundo tubo en el sondeo) con el fin de que el agua pueda aspirarse desde profundidades superiores a los 10 m; sin embargo, la eficacia de la bomba se reduce.

Tabla 17.III: Carga máxima de aspiración según el tipo de bomba.

Tipos de bombas de superficie	Máxima carga de aspiración	Ejemplos de bombas
Bomba manual de pistón montada en superficie	7 – 10 m dependiendo del modelo	Tipo VN6
Bombas centrífugas eléctricas pequeñas	8 m máximo	Todos los tipos, todas las marcas
Bombas centrífugas eléctricas grandes	ver NPSH	Todas las marcas, Grundfos, KSB, Voguel
Bombas centrífugas de motor (gasolina) montadas en superficie	hasta 10 m con cuidado en el uso	motores Robin, Tsurumi, Honda
Bombas centrífugas grandes montadas en superficie (diesel)	ver NPSH máx. 7 m	Bombas con motores Lister

3.3 Caudal y Altura Manométrica Total (TMH, "Total Manometric Head")

Estos dos parámetros se relacionan directamente con el caudal útil y la altura a la que hay que descargar el agua. Esta altura, más las pérdidas de carga y la presión residual al final de la tubería, se expresa de la siguiente manera:

$$TMH = (h_s + h_d) + J + Pr$$

donde TMH es la altura manométrica total (en metros de columna de agua), $h_s + h_d$ son la presión de la aspiración + la presión de descarga de la bomba (m), J (m) es la pérdida de carga en tuberías y accesorios (válvulas, codos) y P_r es la presión a la descarga del sistema (m de columna de agua), es decir la presión al final de la tubería de descarga.

3.3.1 CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA BOMBA

Para cualquier bomba, cuanto mayor es el valor de TMH, menor es el caudal obtenido. La curva se traza mediante los valores correspondientes de TMH y caudal. Los puntos que caen fuera de la curva (fuera de la configuración óptima) corresponden a un funcionamiento poco eficiente de la bomba (Figura 17.5).

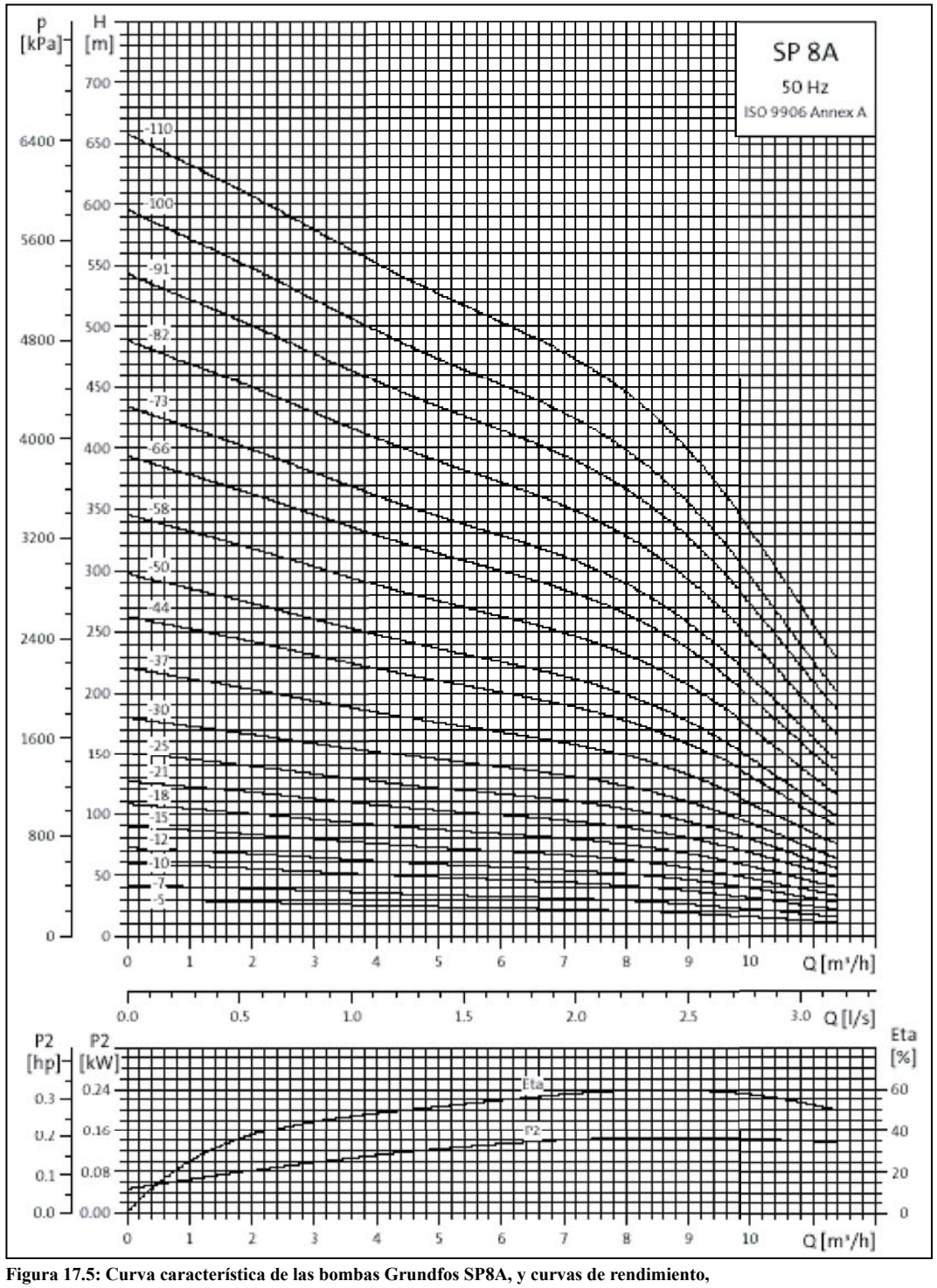


Figura 17.5: Curva característica de las bombas Grundfos SP8A, y curvas de rendimiento, donde Q = caudal, H = TMH, y η = rendimiento.

3.3.2 PÉRDIDAS DE CARGA

La ecuación utilizada para calcular las pérdidas carga (rozamiento del líquido con las paredes del tubo, cambio de dirección) es la de Colebrook-White (Anexo 12).

En la mayor parte de los casos, las pérdidas de carga J son consecuencia de pérdidas lineales (longitud total de las tuberías Ls + Ld) y pérdidas secundarias (filtros, codos, válvulas). Se puede estimar que las últimas son un 10% de las pérdidas lineales, excepto para las bombas de superficie, donde las pérdidas secundarias son calculadas de forma precisa para determinar la máxima carga de aspiración (limitado por el valor de NPSH).

3.4 Punto de funcionamiento en un sistema de tuberías

Este punto es el par de valores TMH/caudal correspondiente al funcionamiento real de la bomba, teniendo en cuenta las pérdidas de carga en el sistema de tuberías. Cuando la bomba está en funcionamiento, se alcanza un determinado punto de trabajo, que corresponde al equilibrio entre caudal y TMH.

Para calcular este punto de funcionamiento, se dibuja un gráfico que representa la curva característica del sistema. Este gráfico se obtiene calculando las pérdidas de carga para varios caudales teóricos en el sistema (Tabla 17.IV). El punto de intersección entre esta curva con la curva característica de la bomba nos da el punto de funcionamiento de la bomba en el sistema (Figura 17.6).

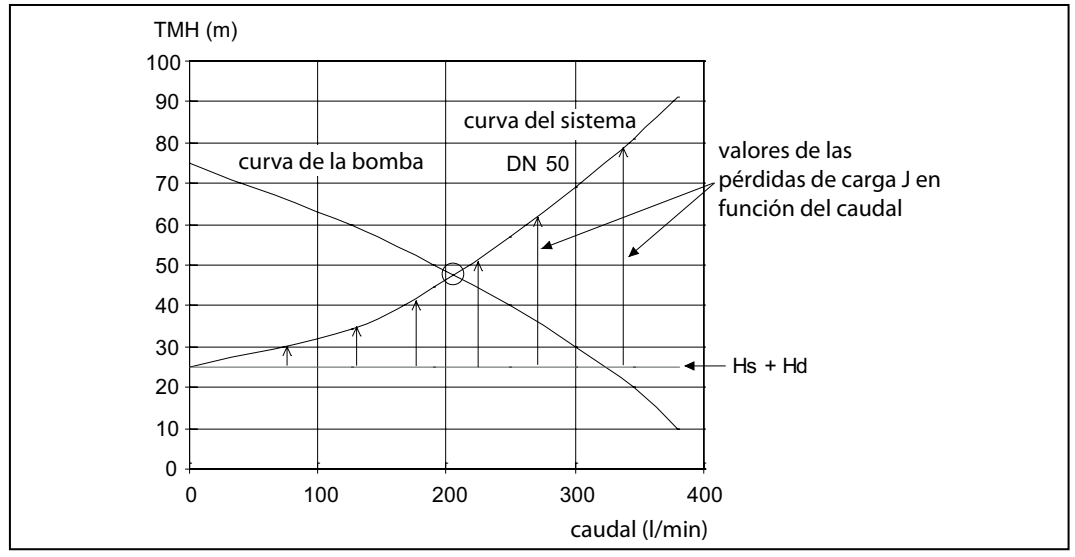


Figura 17.6: Punto de funcionamiento (bomba TEF2-50 en un sistema de tuberías).

Tabla 17.IV: Pérdidas de carga en función del caudal Q.

Q (l/min)	Altura geométrica (m) ($H = H_s + h_d$)	Pérdidas de carga J (m de columna de agua)	TMH (m) (TMH = H + J)
0	25	0	25
125	25	9	34
250	25	32	57
300	25	44	69
380	25	66	91

3.5 Curvas características particulares

3.5.1 EFECTO DE LA VELOCIDAD DEL ROTOR

La velocidad de giro del eje se expresa normalmente en revoluciones por minuto (rpm). Si la velocidad de giro de una bomba aumenta de n_1 a n_2 rpm, el caudal Q, la TMH, y la energía absorbida P, cambian según estas ecuaciones:

$$Q_2 = (n_2/n_1)\, Q1 \qquad H_2 = (n_2/n_1)^2 H_1 \qquad P_2 = (n_2/n_1)^3 P_1$$

Con un motor de combustión interna o un motor eléctrico de corriente continua, la velocidad se puede cambiar para adaptarse a una determinada situación. Algunos fabricantes proporcionan las curvas características en función de la velocidad de rotación (Figura 17.7). Normalmente, las bombas eléctricas tienen velocidades de rotación de 3000 rpm para motores bipolares asíncronos (velocidad de giro = frecuencia / número de pares de polos en el motor). Éste es el caso de todas las bombas sumergidas sin regulador de velocidad.

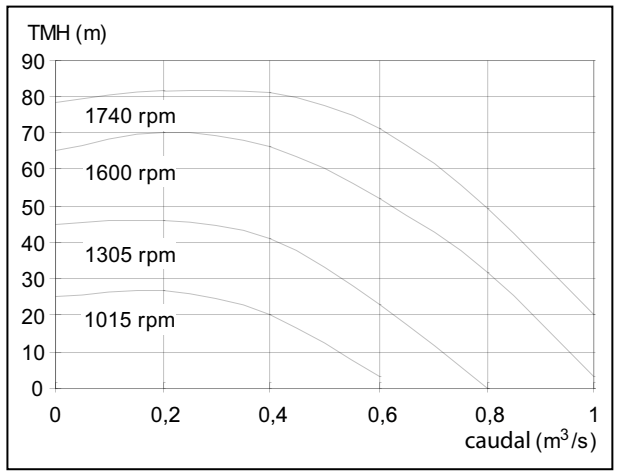


Figura 17.7: Curvas características para una bomba centrífuga en función de la velocidad de rotación.

3.5.2 ESTRANGULAMIENTO DE LA DESCARGA

Estrangulando la descarga con válvulas se puede reducir el caudal de la bomba aumentando la pérdida de carga. Esto da como resultado una inmediata reducción del rendimiento de la bomba y un incremento de la energía consumida. Por ello, en grandes estaciones de bombeo, el uso de válvulas para reducir el caudal aumenta considerablemente el consumo energético del motor.

Adicionalmente, con una restricción excesiva se puede acabar operando fuera del rango de diseño de la bomba, con el consiguiente aumento del esfuerzo mecánico y desgaste asociado.

3.5.3 MONTAJE DE DOS BOMBAS IDÉNTICAS EN SERIE (CASCADA)

El montaje de dos bombas en serie (Figura 17.8) aumenta la presión (altura) de impulsión. Si se mantiene el caudal inicial de una sola bomba, se dobla la TMH. En la práctica, se pueden sumar las TMH individuales para crear la nueva curva característica.

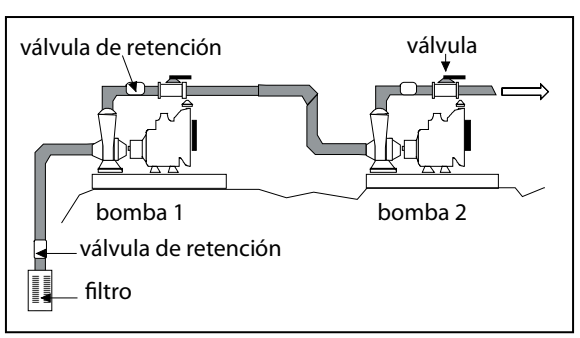


Figura 17.8: Montaje de dos bombas idénticas en serie.

Por ejemplo, si dos bombas idénticas, cada una de ellas capaz de elevar 200 l/min a 50 m (p.ej. bomba motorizada Tsurumi TEF2-50, motor Robin) se montan en serie, se podrá impulsar el mismo caudal de 200 l/min con una TMH de 100 m. Si no se estrangula la descarga, el punto de operación queda establecido dentro de la nueva curva característica de operación (suma de las dos individuales, Tabla 17.V y Figura 17.9).

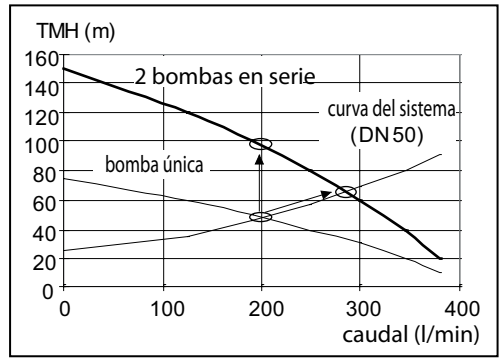


Figura 17.9: Curvas características para una sola bomba y para dos bombas iguales en serie.

Tabla 17.V: TMH y caudal para dos bombas en serie.

Función	Caudal (l/min)	TMH (mCA)
Una bomba en una red	200	50
Bombas en serie en la misma red	290	65
Bombas en serie con caudal controlado con una válvula	200	100

3.5.4 MONTAJE DE DOS BOMBAS IDÉNTICAS EN PARALELO

El montaje de dos bombas en paralelo (Figura 17.10) permite aumentar el caudal bombeado en un sistema. Así, el caudal de las dos bombas puede sumarse, mientras se mantiene el TMH, dibujando la siguiente curva característica (Tabla 17.VI y Figura 17.11). Pero en una red de tuberías dada, las perdidas de carga J aumentan con el caudal, por lo que, en la práctica, no es posible doblar este caudal.

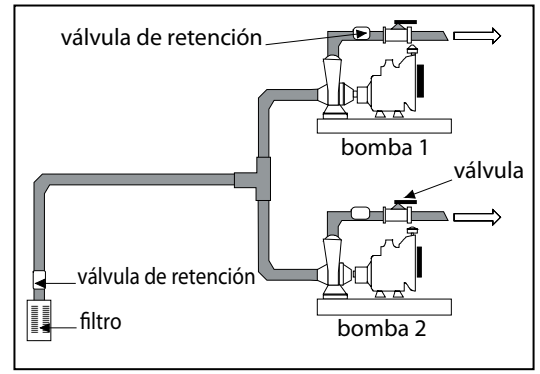


Figura 17.10: Montaje de dos bombas en paralelo.

Tabla 17.VI: Curvas características para dos bombas idénticas en paralelo.

Funcionamiento	Caudal (l/min)	TMH (mCA)
Una bomba en una red	240	43
Dos bombas en paralelo en la misma red	320	57

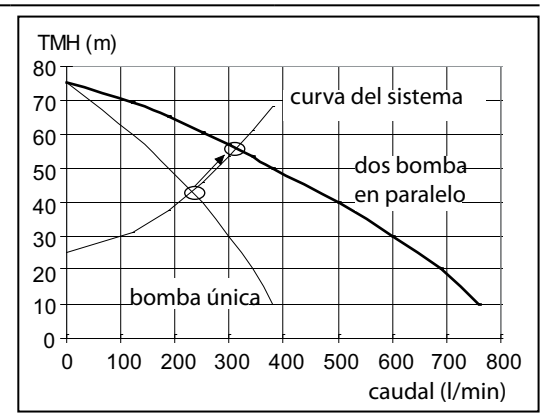


Figura 17.11: Curvas características para dos bombas montadas en paralelo.

3.5.5 MONTAJE DE DOS BOMBAS DIFERENTES

Es posible montar bombas diferentes en serie o en paralelo. El principio es el mismo en serie se suman las TMH, mientras que en paralelo se suman los caudales. El punto de funcionamiento se determina dibujando la curva característica de las dos bombas y del sistema de operación de la red. En el ejemplo de la Figura 17.12, no tiene sentido conectar estas dos bombas para una TMH mayor de 30 m, ya que el caudal no aumentará. Para una TMH de 20 m, el caudal bombeado será de 600 l/min, en vez de 350 l/min usando sólo la bomba TEF2-50.

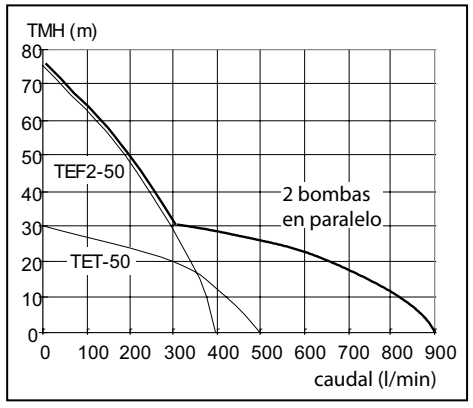


Figura 17.12: Curvas características de dos bombas diferentes en paralelo (tipos TET-50 y TEF2-50).

4 ELECCIÓN DE UNA BOMBA MOTORIZADA

4.1 Bomba centrífuga con motor montada en superficie

En el ejemplo dado en la Figura 17.13, la bomba con motor impulsa agua desde una profundidad de 5 m (H_{as}) y la impulsa hasta una cota de 25 m (H_d). La tubería utilizada tiene un diámetro interior de 40.8 mm (ND 50); la longitud total de la tubería en la descarga es de 200 m (L_d), y la longitud total de la tubería de aspiración es de 6 m (L_s). El caudal requerido es de 2 l/s, es decir 120 l/min, y la presión residual es de 1 bar, o sea, 10 m de columna de agua. La carga total generada es:

$$TMH = H_s + H_d + J \text{ lineal} + Pr + J \text{ secundaria}$$

$$TMH = (5 + 25) + (206 \times 5{,}85\%) + 10{,}33 + 10\% \text{ de J lineal} = 53 \text{ m}$$

Una presión de 1 bar equivale a 10,33 m de columna de agua en condiciones normales de temperatura y presión; 5,85% representa el coeficiente de pérdida de carga por m de tubería para las condiciones dadas (tubería de ND 50, caudal de 2 l/s – ver Capítulo XVIII y Anexo 12). Al calcular la TMH determinamos el par de puntos TMH-caudal (53 m, 120 l/min) lo que permite elegir la bomba más conveniente.

En este caso la bomba que corresponde es la TEF2-50 (Figura 17.12). Los fabricantes dan las características de sus bombas en forma de familias de curvas (ver Figura 17.15). Normalmente, se crea una ficha técnica (Tabla 17.VII) para evitar errores en el pedido (elección de tuberías, marcas, tipo de combustible etc.).

Tabla 17.VII: Archivo técnico para una bomba.

ND (diámetro nominal) de la aspiración (mm) 50	
ND de la descarga (mm)	1 x 40 + 2 x 25
Caudal máximo (l/min)	400
Máxima TMH (m)	75
Punto de operación	
Caudal (l/min)	120
TMH (m)	53
Aplicación	Bombeo desde un arroyo
Motor	ROBIN EY-20D
Potencia (CV, rpm)	5,0/4 000
Tipo / combustible	4 tiempos, refrigeración por aire, gasolina

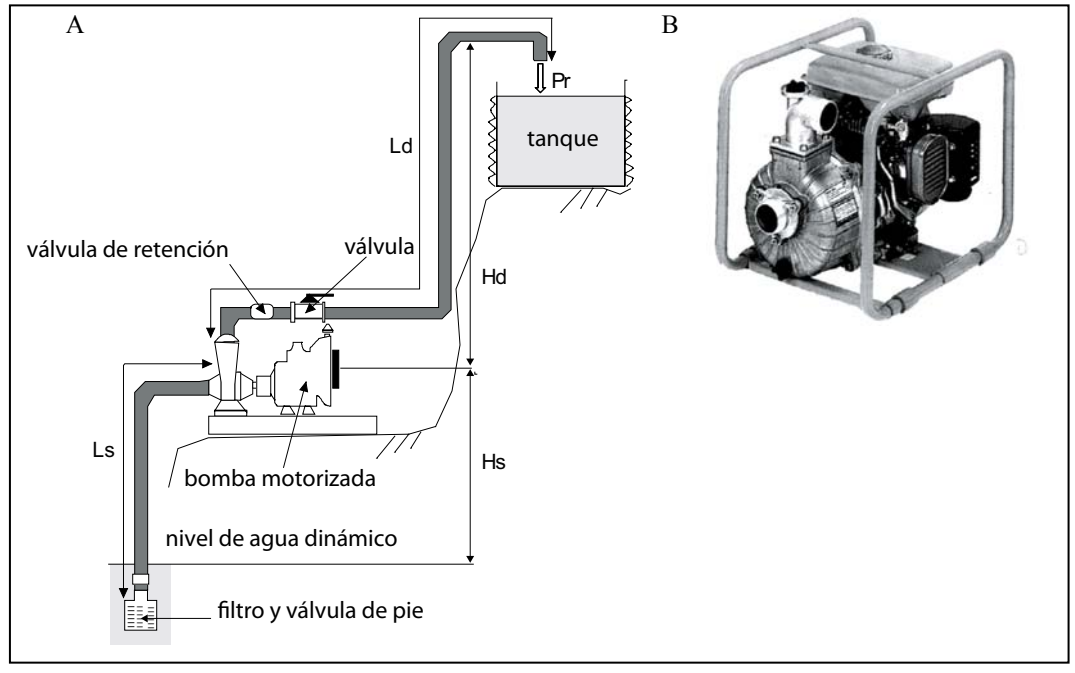


Figura 17.13: Bomba de motor montada en superficie. A: diagrama de instalación. B: fotografía.

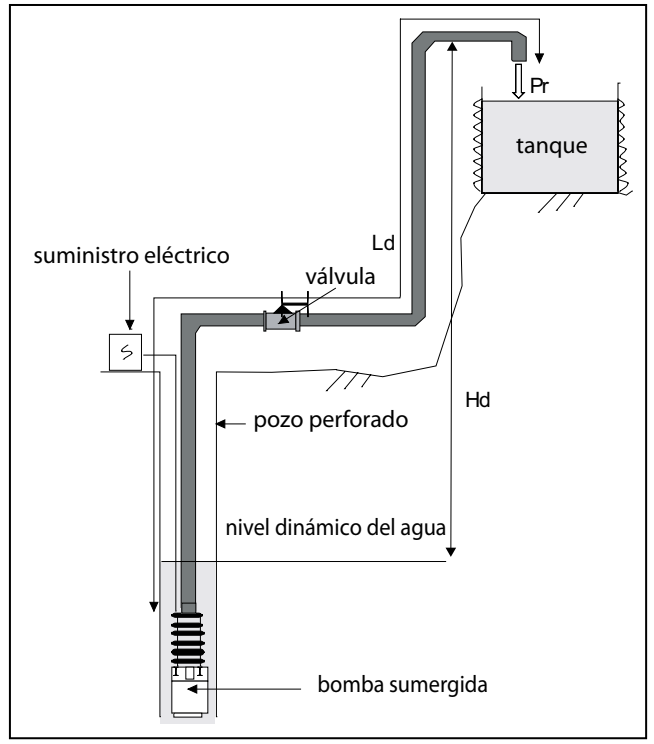


Figura 17.14: Plano de instalación de una bomba sumergida multietapa.

4.2 Bombas eléctricas sumergidas

Para calcular el TMH de una bomba eléctrica sumergida (mostrada en la Figura 17.14), se sigue el mismo procedimiento indicado en el punto 4.1:

TMH = (60 + 25) + (260 x 5,85%) + 10,33 + Cargas secundarias ≈ 120 mCA

Estrictamente hablando, se deberían calcular individualmente las pérdidas secundarias. En el caso de una bomba sumergida (sin pérdidas de carga en la aspiración), este término se desprecia o se toma el 10% de las cargas lineales.

Por ejemplo, la codificación de las bombas Grundfos se presenta de la siguiente forma: SP 5A12, donde SP significa bomba sumergida, 5 el rango de caudal usado (5 m^3/h) y 12 el número de etapas (bomba multietapa).

Para el ejemplo dado, se requiere una bomba capaz de producir 7,2 m^3/h a 120 m de columna de agua Es, por tanto, necesario elegir una serie SP 8A (Figura 17.15) y, de esa serie, la bomba de 30 etapas (Figura 17.5) es la SP8A30. La Tabla 17.VIII indica los diámetros exteriores de las bombas para sondeos de 4" y 6".

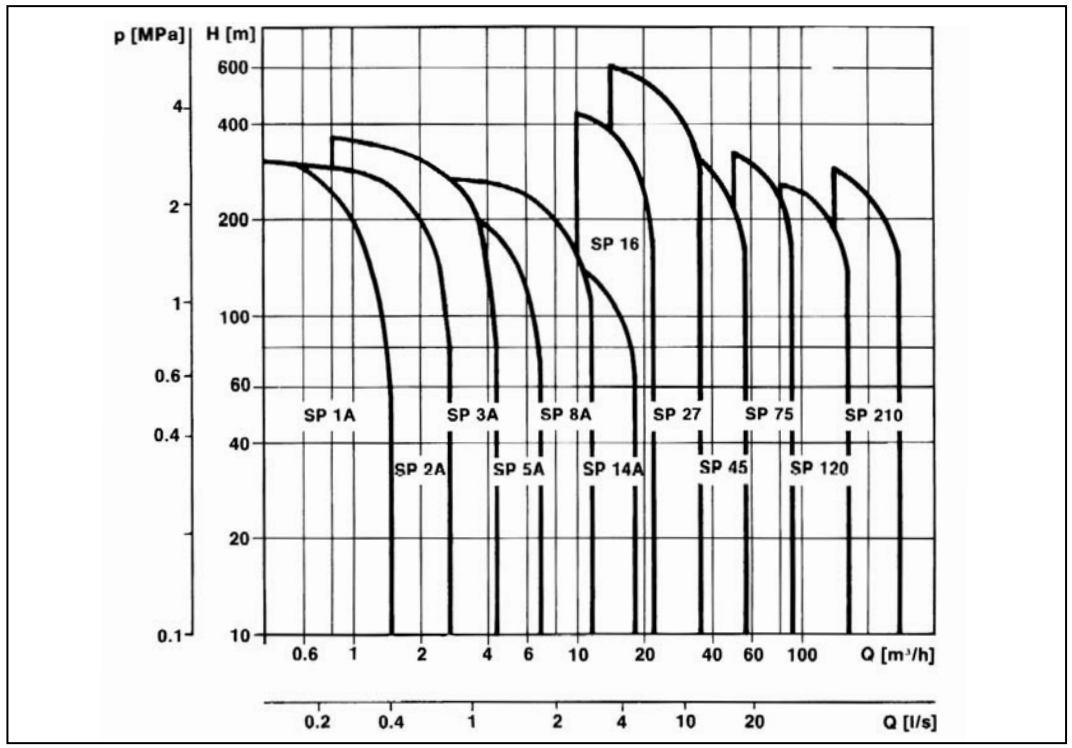


Figura 17.15: Relación de bombas Grundfos.

La bomba puede trabajar conectada a un suministro (red eléctrica) o a un grupo electrógeno, con las siguientes conexiones:

- un cable para uso en intemperie que conecta la bomba al panel de control;
- un panel de control conectado al generador (grupo electrógeno) o a la red eléctrica.

Tabla 17.VIII: Diámetros de las bombas sumergidas Grundfos.

Gama de bombas	Diámetro (mm)	Diámetro (mm)	Diámetro (mm)
SP1A - 5A	95		
SP8A - 5 to 25		101	
SP8A - 30/50			138
SP 14A		101	
SP 45A			145 a 192

5 SUMINISTRO ELÉCTRICO

Dependiendo de la situación en el terreno, el suministro eléctrico puede venir de:

- la red de distribución (principalmente en las ciudades);
- un grupo electrógeno (donde no haya red);
- un sistema de energía solar.

Cada sistema tiene sus propias limitaciones (nivel técnico exigido, equipos disponibles y costes de funcionamiento, plazo de amortización de la inversión, mantenimiento de equipo), que deben ser evaluadas (Tabla 17.IX). A igualdad de condiciones, una instalación de energía solar es mejor en términos de costes de funcionamiento, pero será mucho más cara que la instalación de un grupo electrógeno normal.

Tabla 17.IX. Tipos de suministros eléctricos para bombas.

Suministro	Aspectos a evaluar o verificar
Red	Fiabilidad de la red: fases, cortes de energía, caídas de voltaje Instalación de un transformador; cable (longitud y diámetro); pérdidas de energía
Grupo electrógeno	Capacidad del generador; cable (longitud y diámetro); fases
Solar	Potencia requerida; número de paneles fotovoltaicos Convertidor - cable de conexión al suministro (longitud y diámetro)

5.1 Energía y corriente

Cualquiera que sea el tipo de suministro eléctrico, es fundamental estimar la energía que consume el motor eléctrico de la bomba. En la Sección 3.1 se explica en detalle cómo calcular el consumo energético dependiendo de la TMH y del caudal. De este modo se puede calcular la energía consumida por el motor de la bomba.

5.1.1 RENDIMIENTO

Dependiendo del tipo de transmisión entre la bomba y el motor, el rendimiento, o la relación entre la energía consumida por el sistema hidráulico y la energía que suministra el motor será:

- 85% a 90% en el caso del eje solidario;
- 70% en el caso de transmisión con correa.

$$P_{motor} = \frac{P_{ef}}{0,7}$$

5.1.2 POTENCIA ELÉCTRICA

Potencia nominal: E = V x I (kVA), es la potencia nominal de los generadores.

Potencia real: E = V x I x cos φ (kW), es la potencia utilizada para calcular el consumo de los motores. Se tiene en cuenta el factor de potencia reactiva cos φ, generalmente igual a 0,8.

5.1.3 CORRIENTE (INTENSIDAD) Y VOLTAJE

En las especificaciones del motor, se especifican dos valores de corriente (intensidad):

- corriente nominal I_n, durante el funcionamiento normal;
- corriente de arrancada I_s del motor, mayor que I_n.

5.1.3.1 CORRIENTE NOMINAL ABSORBIDA POR EL MOTOR

Para corriente continua: $I_n = (Pn \times 1\,000)/(V \times \rho)$
Para corriente alterna monofásica: $I_n = (Pn \times 1\,000)/(V \times \rho \times \cos \varphi)$
Para corriente alterna trifásica: $I_n = (Pn \times 1\,000)/(\sqrt{3} \times V \times \rho \times \cos\varphi)$

donde I_n es la corriente nominal (amperios, A), Pn la potencia nominal del motor de la bomba (kW), V el voltaje (voltios, V) y ρ el rendimiento del motor.

Cuanto más potente sea el motor, mayor será su rendimiento. Para motores de 50 kW, la eficiencia es de 0,85; para motores de 1 kW es menor, alrededor de 0,70. Cuanto mayores sean las pérdidas de carga, menor será la eficiencia. Se puede definir entonces una intensidad de corriente C que corresponde al funcionamiento de la bomba a plena carga con las pérdidas de carga mínimas y el mejor rendimiento. El estrangulamiento de la descarga (aumento de las pérdidas de carga) causa un descenso del rendimiento del motor y por tanto un aumento en el consumo de energía sobre el del régimen normal (ver Sección 3.5.2).

Los motores de 1 a10 kW de corriente alterna funcionando a 3 000 rpm tienen los siguientes consumos:

- monofásico 220 V: 5,0 A por kW;
- trifásico 220 V: 3,8 A por kW;
- trifásico 380 V: 2,2 A por kW.

5.1.3.2 CORRIENTE DE ARRANCADA Y POTENCIA NECESARIA

Cuando arranca un motor eléctrico, la potencia absorbida (para llevar el motor eléctrico con cambio de marchas hidráulico desde 0 a 3 000 rpm) es muy superior a la potencia nominal. Como el voltaje es un elemento que no varía, la intensidad de la corriente es lo que aumenta. Los fabricantes suelen proporcionar las relación $Is/I_{nominal}$, siendo Is la intensidad de arranque directo de la bomba. El valor real de la relación anterior (alrededor de 6) se indica en la placa del motor de la bomba.

La potencia del grupo generador o de la red a la que se conecta la bomba debe ser suficiente para la corriente de arrancada I_s. Este es el dato que se utiliza para calcular la potencia del generador necesaria para alimentar la bomba; se calcula usando la fórmula siguiente:

$$P\ (kVA) = VI_s$$

Como la corriente se absorbe en un periodo de tiempo muy corto, se sugiere un cálculo empírico para el diseño del generador (ver Sección 5.2.2).

5.1.3.3 CAÍDA DE VOLTAJE

El motor trabaja de forma óptima con un cierto voltaje. El tamaño (diámetro) de los cables de conexión se debe calcular de modo que evite una caída de voltaje superior al 5% en los bornes del motor (Tabla 17.X). El tamaño de los cables se calcula con la fórmula siguiente:

$$A = (L \times \rho \times I \times C) / (V \times \Delta v)$$

donde A es la sección transversal del cable (mm^2), L es su longitud (m), ρ la resistencia eléctrica (= 0,02 Ω·mm^2/m), I la corriente (amperios), C un coeficiente que depende del suministro, V el voltaje nominal (V), y Δv la caída máxima admisible de voltaje (5%).

C = 2cos φ x 10 en caso de arranque directo monofásico.
C = √3cos φ x 100 en caso de arranque directo trifásico.

Tabla 17.X: Número y sección transversal de los cables dependiendo de la potencia del motor y del suministro (líneas de 100 metros o más). Área normalizada de la sección perpendicular: 1,5; 2,5; 4; 6 y 10 mm^2.

Potencia de motor (kW)	Monofásica 220 V	Trifásica 220 V	Trifásica 380 V
0,55	3 x 1,5 mm^2	4 x 1,5 mm^2	4 x 1,5 mm^2
1,1	3 x 2,5 mm^2	4 x 1,5 mm^2	4 x 1,5 mm^2
2,2		4 x 2,5 mm^2	4 x 1,5 mm^2
3,7		4 x 2,5 mm^2	4 x 1,5 mm^2
5,5		4 x 4 mm^2	4 x 1,5 mm^2
11		4 x 6 mm^2	4 x 2,5 mm^2

5.2 Selección del generador

El generador se selecciona según las características del motor de la bomba. El suministro a una bomba con motor trifásico siempre se hará con un generador que produzca una corriente trifásica. El suministro para una bomba con motor monofásica se puede realizar con un generador monofásico, o, preferiblemente, con uno trifásico, con el fin de reducir los problemas de la corriente de arranque. Es necesario utilizar un "starter" para los motores monofásicos.

Los cálculos teóricos no bastan para seleccionar correctamente un generador, ya que en ellos no se tienen en cuenta sus características, que varían según la tecnología utilizada en la generación de energía. Para rangos relativamente bajos de potencia (< 10 kVA), se recomienda un cálculo empírico. Para niveles elevados, se recomienda un mecanismo de encendido progresivo para resolver los problemas de la corriente de arranque.

5.2.1 CÁLCULO TEÓRICO DE LA POTENCIA (MOTOR Y GENERADOR)

Las características del motor de una bomba SP8A-25 son proporcionadas por el fabricante:

- $I_{nominal} = 8,9$ A
- $I_s/I_n = 4,4$ (< 6)
- cos φ = 0,87
- $I_s = 8,9 \times 4,4 = 39,2$ A
- energía consumida por el motor de la bomba:
  $P = V \times I \times \cos \varphi = 380 \times 8,9 \times 0,87 = 2,9$ kW
- energía requerida al generador:
  $P = V \times I = 380 \times 8,9 = 3,4$ kVA
- energía de arrancada requerida al generador:
  $P = VI_s = 380 \times 39,2 = 14,8$ kVA

La energía requerida al generador que suministra la bomba debería ser, de acuerdo con estos cálculos, de 14 kVA. De hecho, en la elección final se toman en cuenta dos factores adicionales, la frecuencia de las arrancadas y el hecho de que el motor sea trifásico, que tiene un par de arranque inferior al de un motor monofásico.

5.2.2 CÁLCULOS EMPÍRICOS

La aproximación empírica que se hace para generadores de menos de 10 kVA es que la potencia del generador ha de ser dos veces la potencia nominal del motor de la bomba más el 25%:

$$P_{gen} = (P_{pump} \times 2) + 25\%.$$

Por tanto, en este ejemplo: $P_{gen} = (2,9 \times 2) + 25\% = 7,25$ kVA

6 BOMBAS DE ACHIQUE

6.1 Principios y materiales

En contraste con las bombas sumergibles normales, estas bombas son capaces de bombear agua turbia (que contenga lodo o arena). Se utilizan, por ejemplo, para vaciar agua en las excavaciones.

Este tipo de equipo se utiliza en la construcción de pozos, ya que son más apropiadas que las bombas motorizadas montadas en superficie, que están limitadas por la altura máxima de succión, 10 m; y también por razones de seguridad, ya que de ninguna manera se puede bajar una bomba motorizada a un pozo mientras los excavadores están en él (sería imposible evacuar los gases de combustión).

Estas bombas se pueden utilizar para bombear desde una corriente de agua, para el suministro de agua a una estación de tratamiento (sistema de suministro de agua en emergencias) o para el regadío.

La experiencia ha llevado al desarrollo de bombas eléctricas y neumáticas de achique.

En las excavaciones de pozos, las bombas neumáticas, a pesar de su coste (bomba más compresor) parecen ser las más recomendables (robustas, seguras al no haber equipos eléctricos en el fondo del pozo). Funcionan con un pequeño compresor, suministrando un mínimo de 35 l/s a 6 bares, que también es útil para otros trabajos en la excavación (p.ej. para los martillos neumáticos).

Por otra parte, para cualquier clase de bombeo desde una corriente o un río (para riego o para abastecimiento de agua potable), las bombas eléctricas son más recomendables debido a su poco volumen, su eficacia hidráulica (TMH y caudal), y por su bajo precio y su bajo coste de mantenimiento (el coste en el consumo del generador es bajo comparado con el de un compresor).

6.2 Bombas eléctricas de achique

Las características del modelo citado (Figuras 17.16 y 17.17) proporcionan una gran variedad de recursos para cualquier situación cotidiana. Existen también otros tipos de bombas dependiendo de las aplicaciones específicas que se necesiten.

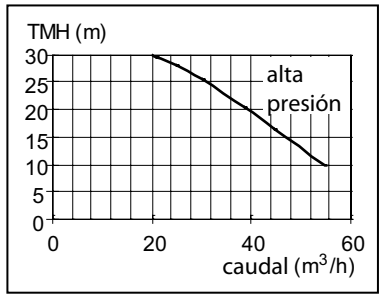


Figura 17.16: Curva característica para una bomba eléctrica de extracción de agua.

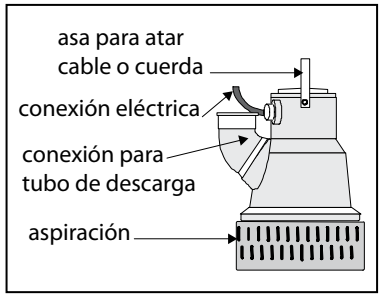


Figura 17.17: Bomba eléctrica de achique. Modelo 2102 HT 234; peso: 50 kg; altura y diámetro: 660 x 470 mm; diámetro de la descarga: 2"; energía nominal: 4.6 kW; voltaje de suministro: 380 V, 50 Hz trifásica ó 220 V, 50 Hz trifásica.

6.3 Bombas neumáticas

El uso de bomba y martillo neumático para la excavación de pozos (Figura 17.18) requiere alternar las fases de bombeo (válvula de la bomba abierta) y la fase de excavación (válvula del martillo abierta). El aire con partículas de vapor del aceite es tóxico (los trabajadores deberán llevar máscaras) y es aconsejable mantener la lubricación al mínimo. El engrase diario sencillo del equipo resolverá el problema.

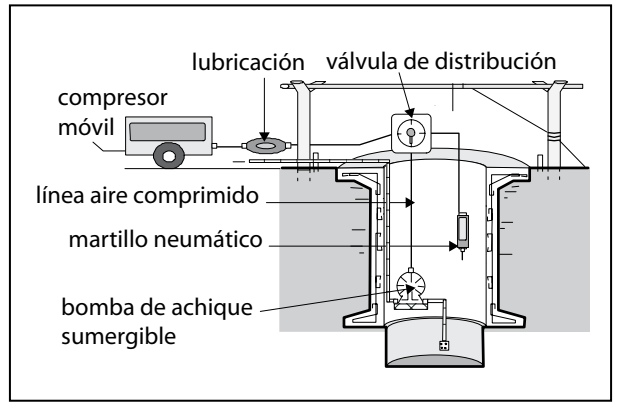


Figura 17.18: Uso de una bomba neumática y de un martillo neumático en la excavación de un pozo.

El modelo elegido por ACF es una bomba de membrana con las características que se incluyen en la Figura 17.19.

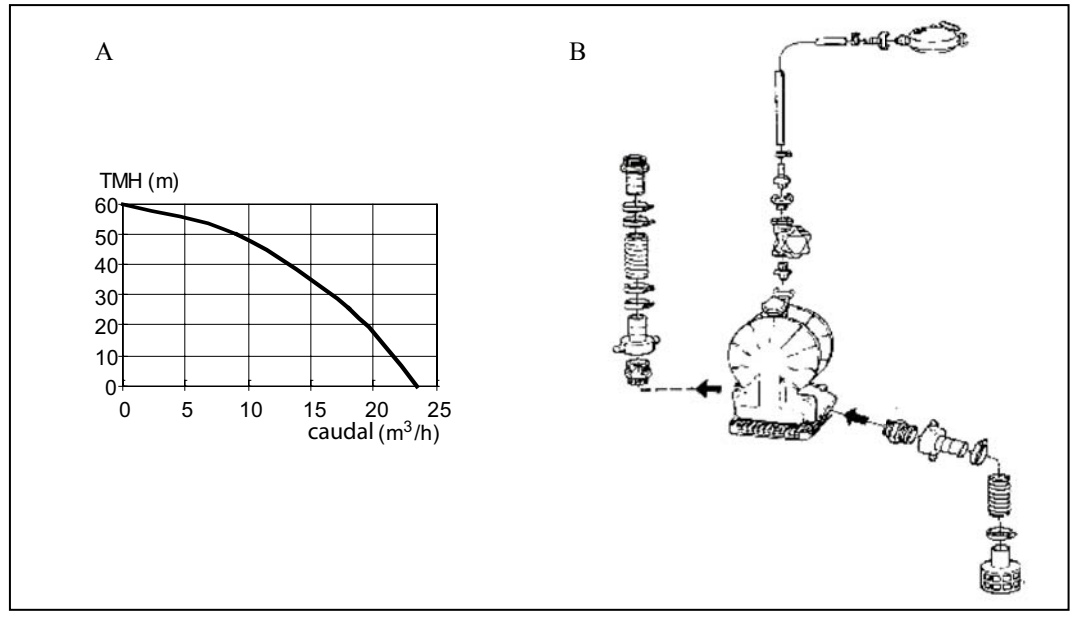


Figura 17.19: Bomba de achique de membrana. A: curva característica; B: vista explosionada. Peso: 31 kg; H x A x L: 60 x 40 x 35; Diámetro nominal de la descarga: 2.5"; Presión del aire comprimido 6 bares, caudal 34 l/s, diámetro nominal de la entrada de aire: 0.75".

7 BOMBAS DE ENERGÍA RENOVABLE

Actualmente, muchos fabricantes disponen de la tecnología de bombeo con energía solar. Puede ser muy útil para abastecimientos a poblaciones de tamaño medio. Sin embargo, los caudales y la TMH están limitados (un máximo de 100 m^3/día/100 m). Además, la superficie requerida de los paneles solares puede ser significativa, lo que conlleva el consiguiente aumento de coste. El mantenimiento de estas instalaciones debe tener la misma consideración que el de una instalación convencional, aunque los costes de operación sean muy bajos, es necesario asegurar la disponibilidad de las piezas y la formación de los técnicos. La elección de la energía solar no debe llevarnos a falsas creencias sobre el coste del agua o el mantenimiento de la instalación.

La experiencia de ACF con bombas utilizando la corriente del Nilo en Juba (Sudán) es una alternativa que merece ser incluida en esta sección sobre bombeos y energías renovables.

7.1 Bombeo con energía solar

7.1.1 ENERGÍA SOLAR

Los paneles solares transforman la energía solar (excitación de fotones) en energía eléctrica (excitación de electrones). Esta energía puede ser almacenada en baterías (acumuladores) que permiten el funcionamiento continuo, o puede ser transmitida directamente al equipo eléctrico.

Existen dos alternativas posibles:

– Bombeo con energía solar directa (Figura 17.20) ;

– Almacenamiento en baterías (neveras, alumbrado, radio, etc.).

El bombeo con energía solar se lleva a cabo siempre directamente sin necesidad de acumuladores (p.ej.: baterías), que suponen un encarecimiento y necesitan cambiarse cada dos o tres años. En un sistema solar de bombeo de agua, el depósito elevado asume el papel del acumulador:

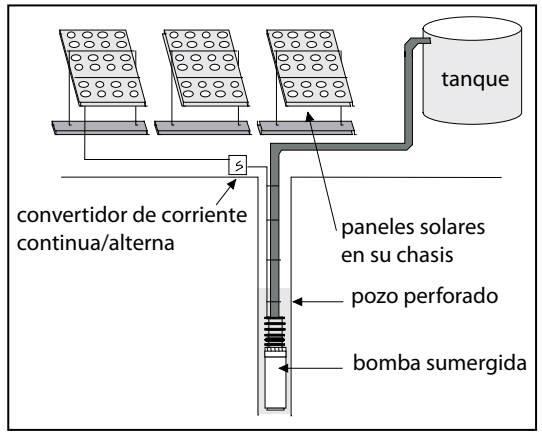


Figura 17.20: Abastecimiento de una bomba con paneles solares.

– los paneles solares proporcionan la energía necesaria para el funcionamiento de la bomba. Su montaje en serie proporciona el voltaje necesario para el convertidor (los voltajes de los módulos se suman);

– el convertidor suministra a la bomba una corriente alterna de 220 V a partir de la corriente continua generada por los paneles solares. La velocidad del rotor y, por tanto, el caudal de la bomba varían dependiendo de la radiación solar, con el caudal máximo teniendo lugar al mediodía (cuando hay mayor radiación solar).

La electricidad producida por los paneles es continua y de varios amperios, a un voltaje de entre 12 y 18 V, y dependiendo del modelo, se puede conseguir una energía de 60 a 90 Wc (4.86 A, 18.5 V y 90 Wc para paneles BP Solar 590).

La actividad de los paneles solares depende de las horas de radiación solar, el ángulo de incidencia, y la temperatura de las celdas. Estos parámetros dependen de la latitud, del clima local y de las características geográficas. Siempre es necesario realizar un estudio para determinar cuánta superficie de paneles se requiere.

7.1.2 DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO SOLAR

7.1.2.1 PRINCIPIO

Para definir la energía de los paneles solares necesaria para el bombeo se debe conocer la situación geográfica para poder determinar las horas de radiación solar y la radiación solar total (HSP: pico de hora solar), así como el caudal y la TMH. Se debe seguir el siguiente procedimiento:

– definición del HSP (kWh/m^2/day), dependiendo del máximo número de horas de radiación solar y la longitud del día. El HSP se define a partir de la latitud del lugar;

– elección de la bomba dependiendo del caudal y de la TMH (Tabla 17.XI);

– uso de los gráficos o cuadros de eficacia de las bombas proporcionados por los fabricantes para obtener, dependiendo del HSP, la energía que generan los paneles (Wp) para el funcionamiento de la bomba para este rango de caudal y TMH (ver Figura 17.21);

– determinación del número de paneles: Wp/Pn (energía nominal para cada panel);

– verificación del voltaje nominal para que funcione el convertidor (dependiendo del modelo);

– cálculo del caudal instantáneo en las horas de radiación solar máxima, usando el gráfico que proporciona el caudal dependiendo de la energía Wcc = 0.8 x Wp.

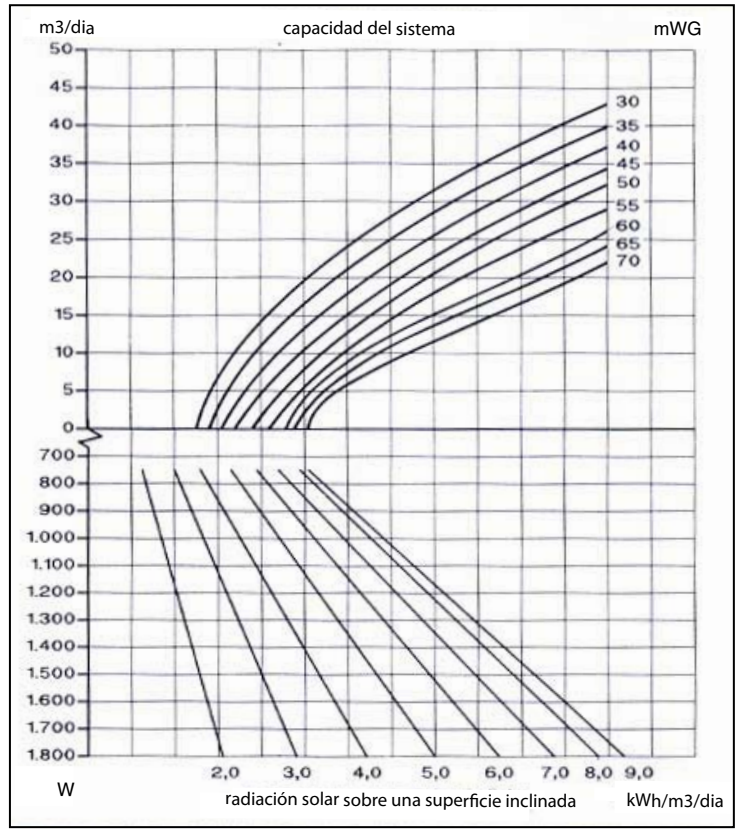


Figura 17.21: Gráfico de diseño para una bomba SP3A-10 para días de 11 horas de radiación solar y una temperatura media de 30°C.

Tabla 17.XI: Principales bombas solares Grundfos para caudales medios diarios (HSP 5.7; temp 30°C; 20° N latitud; inclinación 20°).

Bomba	TMH (m)	caudal medio diario (m^3/día)
SP1.5A-21	80-120	10
SP2A-15	50-120	15
SP3A-10	30-70	20
SP5A-7	2-50	35
SP8A-5	2-28	60
SP14A-3	2-15	>100

7.1.2.2 EJEMPLO DE UNA ESTACIÓN DE BOMBEO

Datos básicos:

– TMH 65 m, Q = 10 m^3/día

– estación en Malí, HSP = 5.7 kWh/m^2/día

Para el caso de una bomba SP3A-10, el gráfico en la Figura 17.21 señala una energía útil de motor (Wp) de 1400 W.

Para equipar la instalación con paneles BP Solar 590 que proporcionen 90 Wc se requieren:

Wp/Pn = 1 400/90 = 15,5 paneles.

Por tanto, con el inversor funcionando a un voltaje nominal de 110 V, son necesarios siete paneles de 18V montados en serie.

La estación estará compuesta por 21 paneles, 3 módulos (en paralelo) de 7 paneles (en serie).

El caudal instantáneo es Wcc = 1890 (90 x 21) x 0,8 = 1512 W; de acuerdo con el gráfico la bomba producirá un caudal de 3,5 m^3/h.

7.2 Energía hidráulica

Las bombas Garman, fabricadas bajo licencia en Inglaterra y Khartoum (Sudan), son bombas centrífugas de superficie que utilizan la fuerza motriz de la corriente de un río para mover el eje de una bomba por medio de una turbina. Estas bombas pueden funcionar de forma continua (24 h/24) siempre y cuando la corriente de agua tenga una velocidad mínima de 0,85 m/s, y una profundidad de unos 3 m (Figuras 17.22 y 17.23). Se pueden utilizar para el abastecimiento de agua potable, pero son especialmente útiles en regadíos, teniendo en cuenta la baja presión de descarga, los reducidos costes de operación, que se limitan al mantenimiento de la bomba y de la turbina (palas), y que no se necesita combustible.

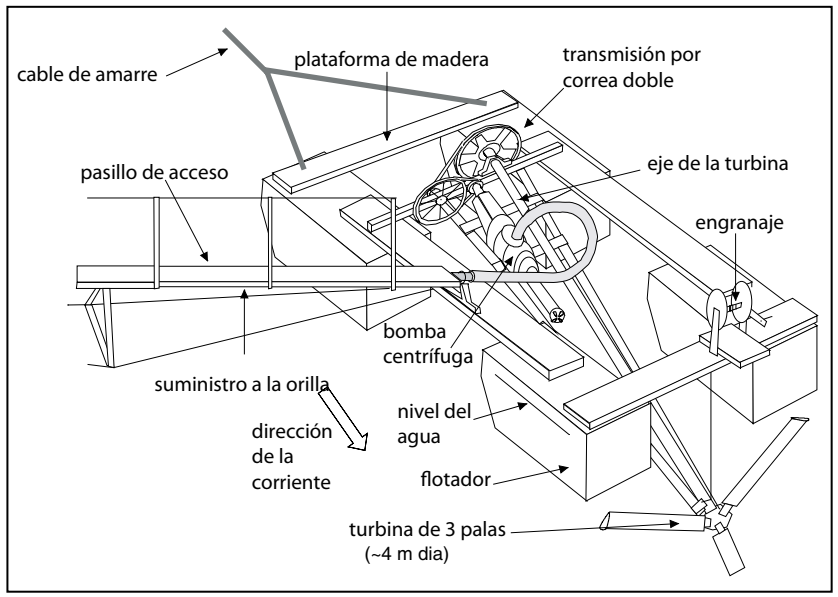


Figura 17.22: Bomba Garman instalada sobre una balsa.

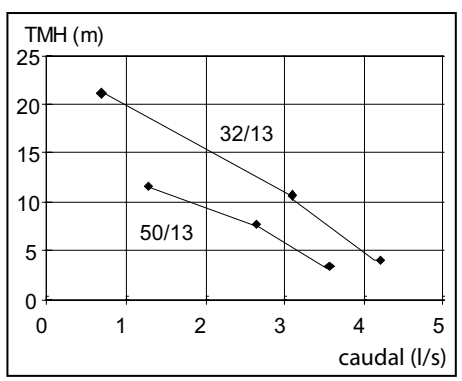


Figura 17.23: Curvas características para bombas Garman 32/13 y 50/13. Velocidad de la corriente: 0,85 – 0,9 m/s; palas grandes (ACF, Sudan, 1996). Estas dos bombas montadas en serie en el Nilo en Juba producían alrededor de 2 l/s para una TMH de 25 m.

La elección de las palas de la turbina depende de la velocidad de la corriente y la profundidad del agua (Tabla 17.XII).

Tabla 17.XII: Longitud de las palas de la turbina en función de las características del curso de agua.

	Velocidad de la corriente (m/s)		
Profundidad	0,7-1	1-1,2	1,2-1,4
2,5 a 3 m	–	–	80 cm
3 a 3,5 m	–	100 cm	80 cm
a 4 m	120 cm	100 cm	80 cm

7.2.1 VELOCIDAD DE ROTACIÓN DE LA BOMBA

La velocidad de rotación de la bomba depende de la velocidad de la corriente, así como del diámetro de las poleas que transmiten la rotación al eje de la bomba:

$$\omega_{bomba} = (ø_1/ø_2)\,(ø_3/ø_4)\omega_{turbina}$$

donde ø es el diámetro de las poleas y ω la velocidad de rotación de los ejes (rpm). Por ejemplo, si las turbinas giran a 21 rpm, el eje de la bomba girará a 2320 rpm con la configuración de poleas mostrada en la Figura 17.24.

7.2.2 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO

La velocidad del eje de la turbina se mide en revoluciones por minuto (rpm) con o sin carga (bomba conectada al eje de la turbina por medio de correas). La relación $r = \omega_{sin\ carga}/\omega_{con\ carga}$ nos da el rendimiento de la bomba instalada (Tabla 17.XIII).

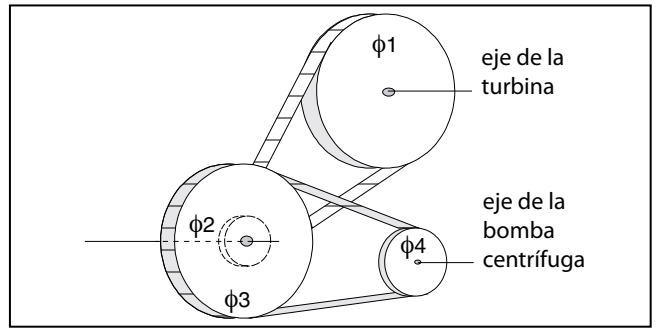


Figura 17.24: Plano de montaje de poleas

Polea	Diámetro (mm)
ø1	49,5
ø2	5,6
ø3	50
ø4	4

7.2.3 COMPONENTES NECESARIOS PARA EL MONTAJE DE UNA BOMBA GARMAN

La lista de componentes se incluye en la Tabla 17.XIV. El precio de una bomba Garman, fabricada en Khartoum, es alrededor de USD 2000.

Tabla 17.XIII: Ajuste de la velocidad de giro en una bomba Garman.

Relación	Modificación a llevar a cabo
r < 1,45	reducción del diámetro de la polea de la bomba
1,45 < r <1,55	rango de trabajo aceptable; una relación de 1,55 es la relación óptima
> 1,65	aumento del tamaño de las palas de la turbina y del diámetro de la polea de la bomba

Tabla 9.XIV: Componentes necesarios para el montaje de una bomba Garman.

Denominación	Cantidad
Bomba centrífuga tipo 32/13, 40/13 ó 50/13	1
Eje de transmisión de la turbina (tubo galvanizado de 3")	1
Palas grandes, medias o pequeñas (80, 100 ó 120 cm)	3
Cojinete de bolas para el eje de turbina	2
Correa de transmisión del eje de turbina	1+ repuesto
Correa de transmisión de la bomba	1+ repuesto
Cojinete de rodillos en el eje intermedio	2
Polea grande	2
Cable de acero inoxidable para el torno	1
Válvula de retención para la toma con filtro	1
Manómetro para la bomba	1
Balsa para la instalación de la bomba	1
Cable de amarre de acero	1
Pasarela de acceso	1

8 BOMBAS MANUALES

Las bombas manuales se utilizan normalmente en pozos excavados y perforados. De este modo se pueden sellar los puntos de captación del agua para evitar contaminaciones y, en muchos casos, hasta se puede aumentar la cantidad de agua bombeada.

La mayor parte de las bombas manuales son bombas volumétricas con un émbolo sumergido, guiado con una conexión mecánica (varilla) o hidráulica (sistema desarrollado por A. Vergnet). Algunas de ellas pueden bombear agua hasta una cota superior a 60 m.

Se han desarrollado diversos tipos de bombas manuales duraderas que reúnen las condiciones demandadas en el terreno, especialmente para un uso intensivo. La elección depende de criterios técnicos y socio económicos (Tabla 17.XV).

Tabla 17.XV: Criterios de selección para la instalación de bombas.

Criterios técnicos	Criterios socio-económicos	
Profundidad de bombeo y caudal requerido	Existencia de una red de distribución de repuestos	
Diámetro de bomba	La bomba ha sido probada y aceptada por parte de la población	
Facilidad de instalación y mantenimiento	Ya hay bombas instaladas en la zona	
Durabilidad y fiabilidad de la bomba	Directivas estatales o de otras agencias	
Tipo de bombeo:	Coste	
elevación hasta el tanque		
impulsión por motor + correa		
Tipo de bomba	**Diámetro de los tubos (pozo perforado)**	
Bomba de aspiración tipo VN6	2"	DN 50 (52 mm interior)
Vergnet 3C	3"	DN 75 (82 mm interior)
Otras bombas	4"	DN 100 (103 mm interior)
Kardia K65	4"1/2	DN 115 (113 mm interior)

8.1 Tipos Principales de Bombas Manuales

Las bombas manuales se clasifican de acuerdo con la profundidad de la instalación (Tabla 17.XVI): las bombas aspirantes se usan para niveles dinámicos inferiores a 7 m; las bombas impelentes son para niveles dinámicos mayores a 7 m; bombas adaptadas a profundidades mayores de bombeo (> 35 m). Bombas Vergnet y Monolift también tienen la posibilidad de impulsar agua hasta tanques elevados (se requiere entonces el sellado del cabezal de la bomba).

El caudal de funcionamiento de las bombas manuales varía en función de la profundidad de instalación y el tipo de bomba. Por ejemplo:

– Bomba Aquadev instalada a 15 m: 1,4 a 1,8 m^3/h;
– Bomba aspirante VN6 a 6 m: 1,5 a 1,8 m^3/h;
– Bomba HPV 60 Vergnet a 35 m: 1 m^3/h.

Los fabricantes proporcionan los caudales medios, que dependen de la velocidad de bombeo (impulsiones por minuto).

Tabla 17.XVI: Rango de funcionamiento de las bombas manuales.

10 m	20 m	30 m	40 m	50 m	60 m	70 m	80 m	90 m	100 m
Tara									
Vergnet HPV30									
	India Mark 2								
	Aqua/Afridev								
	Kardia								
	Vergnet HPV 60								
	Volanta								
	Monolift								
			Vergnet HPV 100(*)						
Afripump									

(*): 2 personas bombeando

8.2 Bombas de pistón

8.2.1 BOMBAS SUMERGIDAS

El principio de funcionamiento de estas bombas se describe en la Figura 17.25. Los elementos sumergidos se presentan en la Figura 17.27.

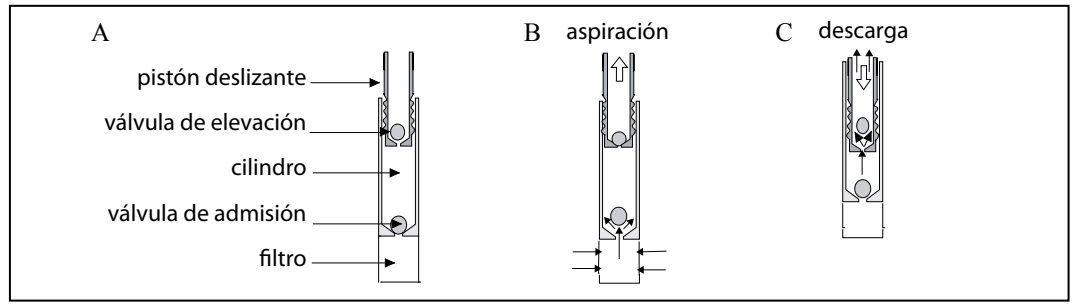


Figura 17.25: Principio de funcionamiento de una bomba de pistón. A: Esquema de funcionamiento. B: el pistón se eleva, la válvula de entrada se abre, la válvula de elevación se cierra, el recinto se llena de agua. C: el pistón baja, la válvula de elevación se abre mientras la válvula de entrada se cierra, el recinto se vacía.

Los segmentos que aseguran el sellado pistón/cilindro (Figura 17.26) están sujetos a un rozamiento continuo, y son por tanto elementos que sufren desgaste. Algunos fabricantes los han eliminado (sello hidráulico).

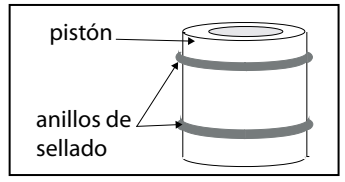


Figura 17.26: Segmentos de sellado pistón-cilindro

Existen varias clases de válvulas en los cilindros de las bombas manuales (Figura 17.27). Cualquier funcionamiento defectuoso de las válvulas causa una caída en el rendimiento de la bomba, o incluso su fallo completo.

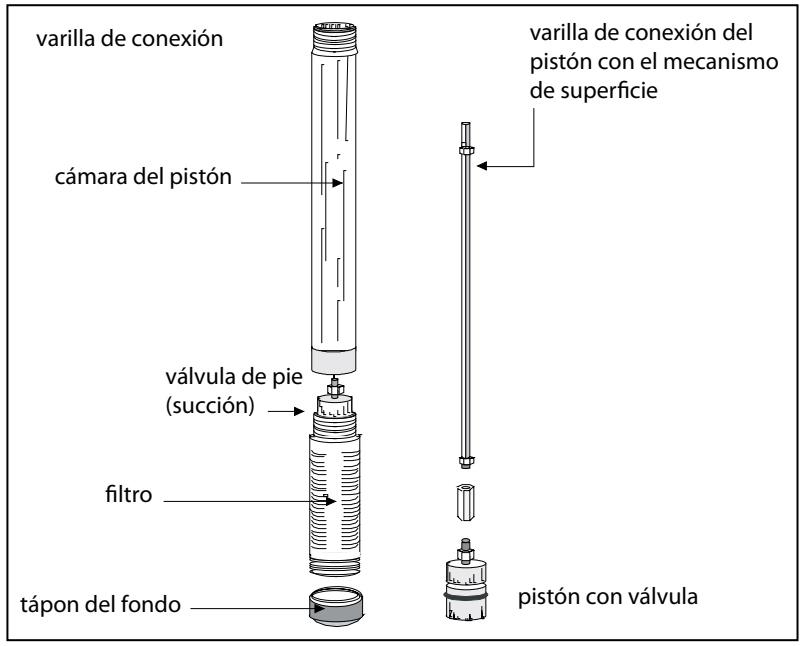


Figura 17.27: Cilindro de bomba Kardia.

En las Figuras de la 17.28 a 17.31 se presentan ejemplos de bombas impelentes de pistón.

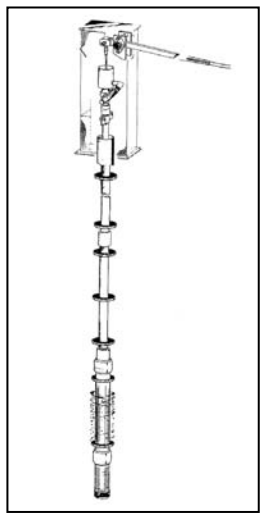


Figura 17.28: Bombas Kardia K65 y K50 (para grandes profundidades).

Fabricante	Preussag AG
Cabezal y mango de la bomba	Acero galvanizado
Varilla de conexión, columna	Acero inoxidable atornillado y tubos de PVC
Cuerpo de la bomba	Acero inoxidable
Pistón, cilindro	PVC
Diámetro externo	K 65: 70 mm; K 50: 50 mm
Peso total (25 m)	110 kg
Precio	2400 euros ex-works (45 m)
Funcionamiento (40 impulsos/min)	K 65: 1 m^3/h a 30 m; K 50 672 l/h a 45 m
Ventajas	Excelente resistencia a la corrosión Fácil instalación (PVC atornillado) Buena calidad en la fabricación
Desventajas	Se aflojan con frecuencia los cojinetes del mango Hay que apretar los tornillos (usar un producto como el Frenbloc); Coste de compra elevado

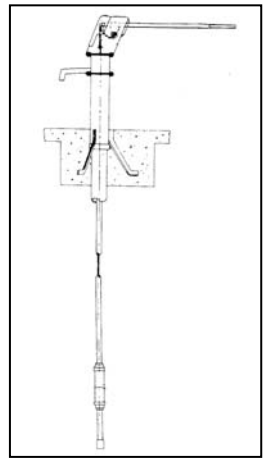


Figura 17.29: Bombas India Mark II.

Fabricantes	Local, o francés (Soverna)
Cabezal de bomba	Acero galvanizado
Varilla de conexión, columna	Acero galvanizado
Cuerpo de la bomba	Varía según fabricante: acero inoxidable (Malí) o acero galvanizado (India)
Peso total	120 kg para 25 m
Precio	600 – 750 euros (25 m)
Funcionamiento (40 impulsos/min)	700 l/h a 25 m
Ventajas	Subvencionado por UNICEF, bajos coste de compra
Desventajas	Problemas con la cadena de transmisión Se recomienda un trípode para la instalación (bomba de gran peso) La versión Mark III es demasiado pesada (tuberías en 3" G.I.)

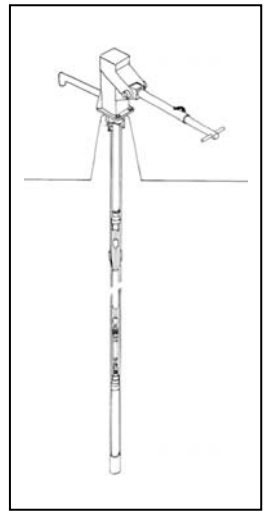


Figura 17.30: Bombas Aquadev y Afridev.

Fabricantes	Bombas Aquadev-Mono (Inglaterra), o local (Kenya, Mozambique)
Cabezal de bomba	Acero inoxidable microsoldado
Varilla de conexión, columna	Acero y PVC
Cuerpo de bomba	PVC
Pistón	Material sintético
Peso total	100 kg para 25 m
Precio aproximado	750 euros ex-works (25 m)
Funcionamiento (40 impulsos/min)	1,3 m^3/h
Ventajas	Buena calidad de fabricación en Aquadev Pistón y válvula de aspiración totalmente desmontables sin quitar la tubería de salida de PVC
Desventajas	La columna de PVC está pegada con cola, lo que hace difícil desmontarla Baja calidad del PVC, dependiendo del fabricante (Afridev) La abrazadera para la varilla de conexión Afridev no es fiable

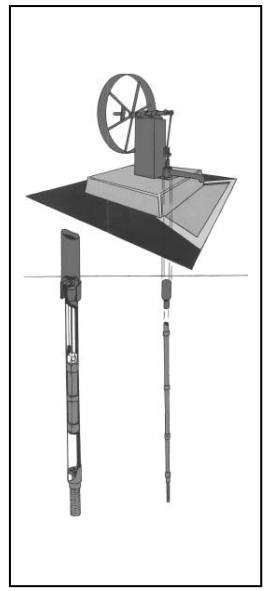


Figura 17.31: Bomba Volanta

Fabricante	Jensen Venneboer (Holanda)
Soporte de la bomba	Acero templado pintado
Volante	Acero templado pintado
Tubería de impulsión	PVC
Cilindro de la bomba	Resina epoxídica reforzada
Pistón / rodillos de la bomba	Acero inoxidable
Válvulas	Goma
Peso total	700 kg
Precio aproximado	3 500 euros (sin tuberías)
Descarga a 75 watts	A 20 m de columna de agua: 1,.5 m^3/h, a 50 m: 1 m^3/h, a 80 m: 0,5 m^3/h
Altura de bombeo	10 – 80 m
Ventajas	Buena calidad de los materiales, durabilidad, robusta. Permite impulsar agua hasta buena altura y bombearse a una distancia de seguridad del pozo (baja el riesgo decontaminación del punto de agua, útil para el abastecimiento del ganado) Puede acoplarse a un molino o motor
Desventajas	Coste elevado Difícil fabricación local Difícil manejo para los niños Se requiere agua muy limpia para evitar que el pistón se atasque

La bomba de mano Afripump no es en realidad una bomba completamente nueva, sino una modificación de la bomba de mano Volanta, desarrollada por Jansen Venneboer en Holanda. La bomba Volanta tiene un historial probado desde 1985 y se considera la bomba manual más fiable. Sin embargo, su coste es elevado y no lo suficientemente simple para ser gestionada por una comunidad rural, debido a la disposición del volante con un cuadro de presión.

Así, la Afripump fue diseñada como una alternativa más simple y más barata que la Volanta.

El mantenimiento se limita a la limpieza de la bomba y de la plataforma, la revisión de tornillos y tuerca, y a la aplicación de pintura cuando sea necesario. Todas estas actividades pueden ser realizadas por la comunidad con materiales locales disponibles y no requieren herramientas especiales ni conocimientos técnicos elevados.

Figura 17.32: Bomba Afripump.

Fabricante	Jensen Venneboer (Holanda)
Soporte y mango de la bomba	Acero templado pintado
Tubería de impulsión	PVC
Cilindro de la bomba	Acero inoxidable
Pistón	POM (polioximetileno) y bronce
Rodetes	Acero inoxidable
Centralizadores	POM
Precio aproximado	995 euros (sin tuberías)
Descarga a 75 watts	A 25 m de columna de agua: 1,32 m^3/h a 50 m: 0,96 m^3/h, a 80 m: 0,72 m^3/h
Altura de bombeo	10 – 100 m
Ventajas	Sin mantenimiento, sólo operaciones rutinarias muy simples. Buena calidad de los materiales, durabilidad, robusta. Permite impulsar agua hasta buena altura y bombearse a una distancia de seguridad del pozo (baja el riesgo de contaminación del punto de agua, útil para el abastecimiento del ganado).

8.2.2 BOMBAS ASPIRANTES

La bomba aspirante de pistón VN6 se fabrica localmente en el Sudeste de Asia (Figura 17.33). La simplicidad del diseño y fabricación fácil hacen de ella una bomba muy barata (USD 30), pero sufre roturas frecuentes (el cuerpo de la bomba) por su baja calidad. La calidad de la fabricación depende del país (Bangladesh, Vietnam, Birmania). Se puede usar hasta para profundidades de 8 a 9 m, con la instalación de una válvula de pie (aspiración) suplementaria, ya que la válvula en el cilindro es normalmente de mala calidad. Para evitar el hundimiento de los pernos en la base se necesita un pedestal de acero donde se atornillan los pernos del cuerpo de la bomba.

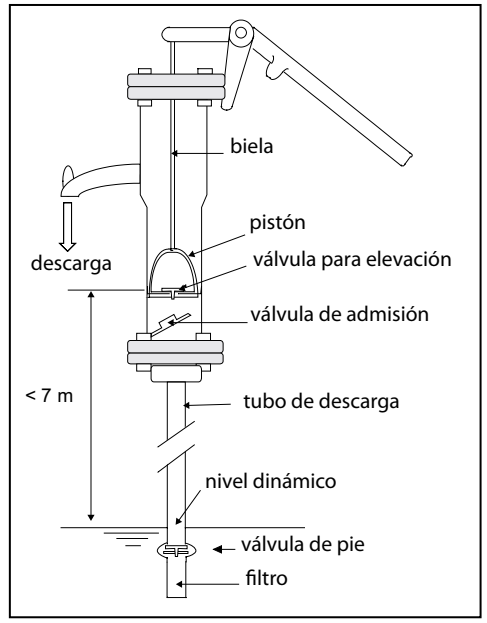


Figura 17.33: Bombas aspirantes VN6.

8.3 Bombas hidráulicas

Las bombas hidráulicas, desarrolladas principalmente por Vergnet SA, son bombas impelentes que funcionan con una transmisión hidráulica entre el cilindro sumergido y el cabezal de la bomba, lo que reduce el número de piezas móviles (Figura 17.34). Existen tres modelos: HPV 30 - 60 - 100.

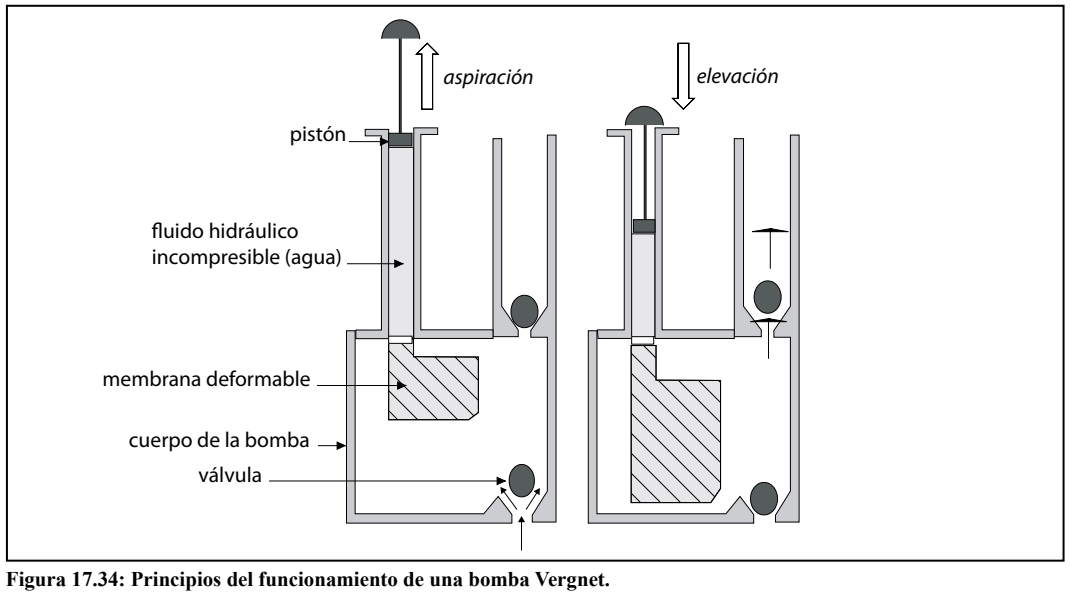


Figura 17.34: Principios del funcionamiento de una bomba Vergnet.

El globo, un cilindro de goma deformable, varía su volumen en el interior del cuerpo de la bomba (Figura 17.34 A). Los controles son hidráulicos, ya que el globo se deforma por el agua presionada desde la superficie por el pistón (pedal).

La bomba HN30 y la Hydro India funcionan con el mismo principio pero se manejan con un mango en vez de un pedal, Figura 17.34 B.

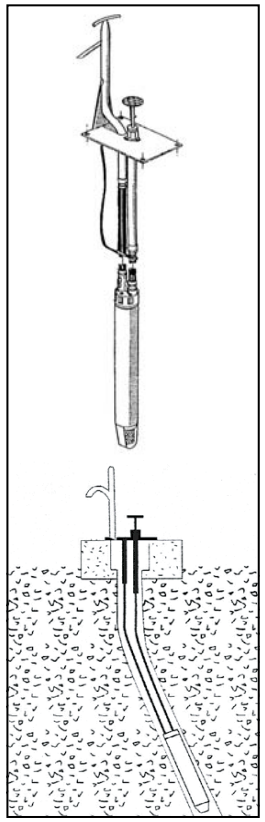


Figura 17.35: Bomba hidráulica Vergnet. A: HPV 60. B: Hydro India 60

Cabezal de la bomba	Acero galvanizado
Cilindro de pedal	Acero inoxidable
Tubo de control	Polietileno de alta densidad
Tubería de impulsión	Polietileno de alta densidad
Cuerpo de la bomba	Acero inoxidable
Cilindro	Acero inoxidable
Globo	Caucho
Válvulas	De bola
Peso total	45 kg para 25 m
Precios	950 euros (HPV 30), 1 300 euros (HPV 60) 2 500 euros (HPV 100)
Funcionamento	1,3 m^3/h a 30 m de altura, 0,8 m^3/h a 70 m, 0,7 m^3/h a 90 m
Ventajas	Funcionan en pozos perforados inclinados (ver Figura 3.34 B), excelente resistencia a la corrosión, fácil instalación y reparación, pocos elementos sufriendo desgaste Fácil de montar y desmontar; ligera de peso; buena relación calidad/precio
Desventajas	Parada automática en los modelos recientes; pérdida de potencia en el control hidráulico En los modelos antiguos, el globo era caro pero tenía una garantía de 3 años; El accionamiento por pedal se considera inferior por algunas comunidades

8.4 Bombas de tornillo

Esta bomba, también conocida como bomba de cavitación progresiva, funciona por el principio de variación volumétrica. El elemento de bombeo (parte hidráulica) consta de un rotor helicoidal de aleación de acero, que gira en el interior de un estator elástico con doble hélice (Figura 17.36). El rotor funciona desde la superficie con un eje sujeto en su lugar con cojinetes.

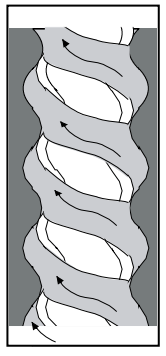


Figura 17.36: Rotor helicoidal en una bomba Monolift.

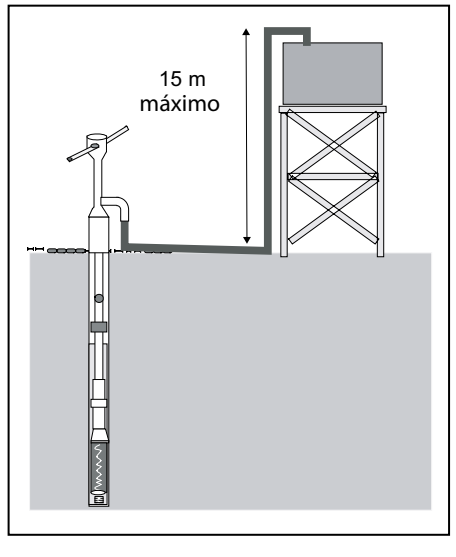


Figura 17.37: Bombeo a un tanque con una bomba Monolift.

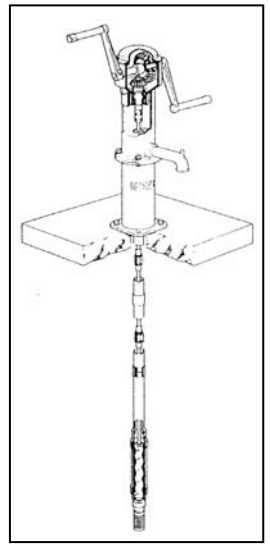


Figura 17.38: Características de una bomba Monolift.

Fabricante	Mono Pumps (Inglaterra) o Euroflo Pumps (Sudáfrica)
Superestructura	Fundición
Eje principal	Acero inoxidable o galvanizado
Columna	Acero galvanizado
Cuerpo de la bomba, rotor	Latón cromado
Estator	Acero y caucho
Válvula de pie (admisión)	Polietileno
Peso total	420 kg para 60 m
Precio aproximado	1950 euros ex-works (60 m)
Ventajas	Robustez y aconsejable para grandes profundidades; sistema de impulsión sencillo; posibilidad de elevar agua a 15 m por encima de la bomba
Desventajas	Engranaje angular frágil (rotura de engranaje); mango difícil de girar (a veces es imposible para los niños), tendencia a la corrosión.

8.5 Bomba de Mecate

La bomba de mecate se basa en una tecnología de bajo coste que se puede utilizar a nivel comunitario y familiar. Bombas Mecate S.A. convirtieron esta tecnología de bomba tradicional en un sistema de bombeo altamente eficaz, durable y de bajo coste, aprovechando la disponibilidad de tuberías de PVC y de artículos de plástico moldeados por inyección.

Se instala normalmente en pozos y sondeos (diámetro mínimo de 100 mm) pero también es posible instalarla en las orillas de los ríos. Tiene la ventaja de poder instalarse en pozos inclinados (no es necesario que la tubería de bombeo sea vertical) y puede adaptarse para llenar tanques elevados. El diseño también se puede adaptar al riego (aumentando el tamaño de los pistones para aumentar el rendimiento).

Esta tecnología tan simple fue usada ampliamente en varias comunidades rurales de Nicaragua y se extendió rápidamente a todo el país y a otras partes de América Central. ACF, así como otras organizaciones, están introduciendo este tipo de bombas en otros países y ayudando a fabricantes locales para adaptar el diseño haciendo pequeñas modificaciones. ACF ha promocionado este tipo de bombas en Nicaragua, Guatemala, Honduras, El Salvador, Colombia, Angola, Malí (en proceso) y Birmania (en proceso), y está estudiando las posibilidades en otros países. En el Sahel, ACF las está considerando especialmente en temas de irrigación de pequeñas huertas, para adaptar los costes de inversión y de mantenimiento del sistema de bombeo al tamaño reducido de las superficies cultivadas (una bomba eléctrica o incluso una bomba manual de tipo Vergnet o Afridev resultarían demasiado caras, y el sistema no sería reproducible ni mantenido adecuadamente).

El diseño de la bomba a base de cuerda y pistón consiste en fijar arandelas (pistones) pequeñas de plástico en una cuerda (con nudos) (Figura 17.39**)**. La cuerda, con las arandelas adheridas, circula por el interior del tubo de plástico y es accionada por una rueda con manivela instalada en superficie con un bastidor fijado al suelo. El bastidor de la bomba es de acero templado y la rueda de impulsión se construye con trozos de neumáticos usados. Una caja de cerámica dirige la cuerda con los pistones hacia la tubería de elevación (en algunos lugares esta parte está fabricada con un trozo de una botella de cristal). Este tipo de bomba tiene una resistencia a la corrosión razonable. Existe también un diseño adaptado a los sondeos. Esta bomba puede accionarse manualmente, por tracción animal, con una bicicleta estacionaria, viento, o con un motor de combustión. Puede ser utilizada por toda la familia para las necesidades diarias, pequeñas producciones agrícolas o para abrevar el ganado.

La bomba de Mecate apenas requiere mantenimiento y es posible fabricarla localmente. La fabricación requiere:

– una máquina de inyección de plástico para la producción de las arandelas o pistones (se usa generalmente polietileno de alta densidad para esta fabricación);

– la compra de cuerdas (su fabricación es complicada);

– una caja de guía hecha con una tubería de entrada, una tubería de bombeo, accesorios cerámicos (el primero se fabrica manualmente con el fin de preparar el molde para las siguientes piezas), una base y una cubierta de hormigón;

– la construcción de la rueda, polea y estructura con materiales metálicos.

Nota: la tecnología de bajo coste facilita el mantenimiento a largo plazo, pero no garantiza que el mantenimiento propio sea eficaz. Normalmente, el coste no es el único factor que bloquea las reparaciones, la movilización de la comunidad suele ser el factor más determinante.

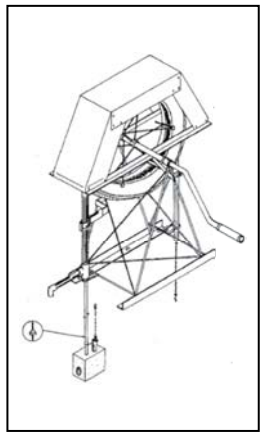


Figura 17.39: Bomba de Mecate.

Fabricantes	Rope Technology Transfer Division, Bombas Mecate SA: fabricantes locales.
Bastidor de la bomba	Acero pintado
Rueda	Tubería de acero pintado
Polea de impulsión	Goma y acero templado
Arandelas/pistones	Polietileno
Caja de guía	Cerámica y PVC
Tubería de elevación	Tubería de PVC
Precio aproximado	Alrededor de 100 euros
Descarga aprox. a 75 watts	A 10 m de altura: 1,4 m^3/h; a 15 m: 1,1 m^3/h; a 30 m: 0,7 m^3/h
Profundidad máxima	40 metros estándar. 60 metros con rueda doble
Ventajas	Fácil funcionamiento y mantenimiento por parte de las comunidades. Bajo coste y posible fabricación local
Desventajas	A veces es difícil convencer a las autoridades de que es apropiada

8.6 Bomba a pedales

La bomba a pedales es una solución muy eficaz para la agricultura de regadío. Su coste bajo la hace accesible incluso para los agricultores más pobres. El desarrollo de las bombas a pedales comenzó en Bangladesh, y desde hace pocos años se ha extendido a varios países en África (ACF exportó estas bombas desde Sudáfrica hasta Angola para un proyecto de regadío en granjas pequeñas de Matala).

La bomba a pedales es una bomba de aspiración que consta de dos cilindros de metal con pistones que funcionan con el movimiento natural de paseo sobre dos pedales (Figura 17.40). Los pedales y la estructura de soporte se fabrican con bambú o cualquier materia prima local y barata. Los componentes metálicos se pueden reemplazar por otros (plástico, etc.) con el fin de evitar la corrosión. La acción de los pasos sobre los pedales es suficientemente eficaz como para bombear los grandes volúmenes de agua necesarios para el riego. Existen también bombas a pedales con suficiente presión de descarga que pueden impulsar el agua por encima de la cota de la bomba. El agua puede enviarse a cotas altas y bombearse por tuberías a largas distancias (hasta 500 m).

Todos los miembros de la familia pueden hacer funcionar la bomba, que es robusta y fácil de mantener con piezas de repuesto disponibles en los mercados locales a bajo precio. La bomba puede ser fabricada localmente en talleres bastante simples.

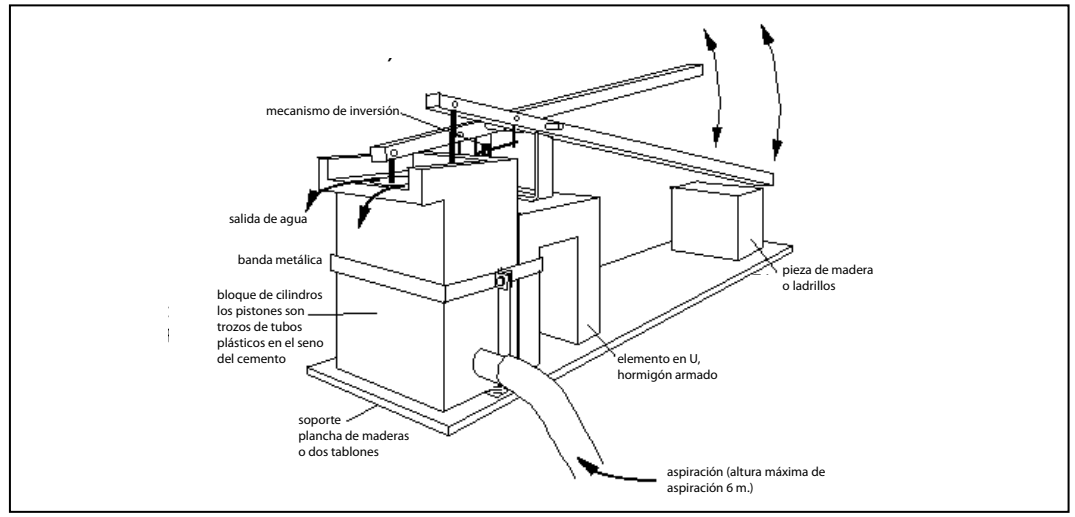


Figura 17.40: Bomba a pedales.

Fabricante	Varios (Sudáfrica, Etiopía)
Cilindros	Metal
Pistones	Caucho
Pedales	Madera (o cualquier otro material)
Estructura de soporte	Metal (o cualquier otro material)
Diámetro de tubería de aspiración	75 mm
Precio (2003)	20 – 150 euros
Descarga	3 a 10 m^3/h dependiendo del diámetro del cilindro y de la profundidad de bombeo.
Área regada	0,4 hectáreas
Altura máxima de succión	Aproximadamente 6 m
Máxima presión de descarga	10 – 15 m (para el modelo de presión)
Ventajas	Coste bajo Manejo y mantenimiento fáciles Buena calidad de fabricación
Desventajas	Límite en la altura de aspiración (6 m) Necesidad de piezas de repuesto estándar

9 BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICA

9.1 Presentación de la tecnología de una bomba de ariete hidraúlica

9.1.1 LA BOMBA

La bomba de ariete hidráulica es un dispositivo que permite elevar agua a una cierta altura sin otra energía que la propia del agua. El invento se debe a Joseph Michel Montgolfier (el constructor, junto con su hermano Jacques Étienne, del primer globo de aire caliente) quien tuvo la idea en 1796 de construir un mecanismo simple para bombear agua aprovechando el fenómeno del golpe de ariete.

9.1.2 EL GOLPE DE ARIETE

El golpe de ariete es un fenómeno conocido: al cerrar bruscamente una válvula, se produce un choque interno del fluido en la conducción a causa de la interrupción del flujo que se manifiesta a menudo en un ruido. En las instalaciones grandes, a causa de la cantidad de agua en movimiento, hay que evitar a toda costa este fenómeno ya que podría llegar a originar la rotura de las tuberías. Sin embargo, esta energía usada adecuadamente, mediante una bomba de ariete, permite el bombeo de una cantidad apreciable de agua (de 1 a 25 litros por minuto, para el modelo desarrollado por ACF en Indonesia) a una altura importante (hasta 150 m), sin usar combustibles ni otro tipo de aportación energética ajena a la del propio agua.

9.1.3 FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE ARIETE

Para funcionar correctamente, la bomba de ariete necesita por lo menos:

– Un desnivel suficiente entre el suministro de agua y la bomba para producir el golpe de ariete. Hay que tener en cuenta que cuanto mayor sea este desnivel mejor será el rendimiento, pero hay un límite de 10 m, por razones de resistencia de los materiales.

– Una altura entre la bomba y el tanque de abastecimiento (elevación de la descarga) que no supere los 100 m. Hay que tener en cuenta que cuanto mayor sea este desnivel, menor será el rendimiento. En algunos casos se puede ir hasta los 150 m, pero el caudal de descarga será muy bajo.

– Que el suministro de agua tenga un caudal suficiente y constante. Hay que tener en cuenta que sólo se elevará una fracción del agua de aporte y el resto se descargará al nivel de la bomba. Esta descarga a bajo nivel será tanto mayor cuanto mayor sea la altura del tanque de abastecimiento (elevación de la descarga).

Abajo se puede encontrar un diseño típico de una bomba de ariete:

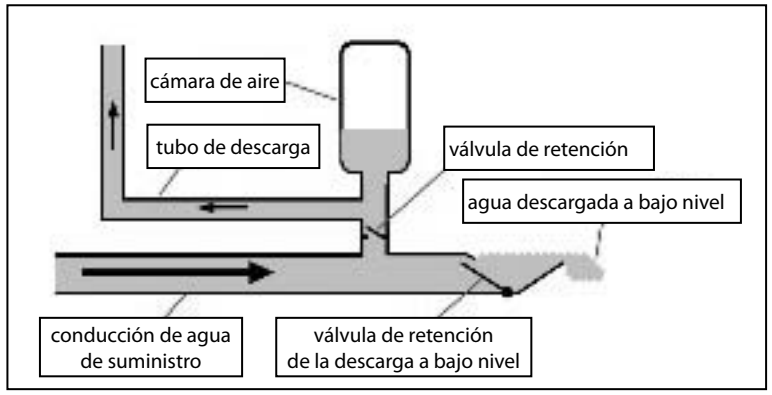


Figura 17.41: Esquema sencillo estándar de una bomba de ariete.

Figura 17.42. Ejemplo de bomba de ariete instalada en Indonesia por empresas privadas.

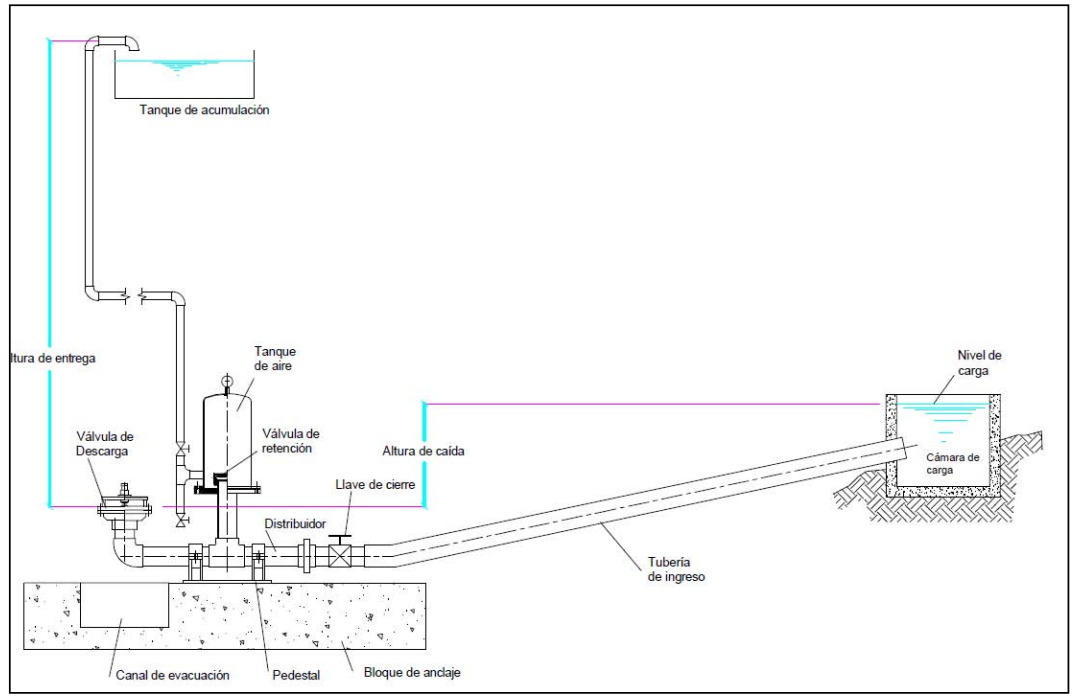


Figura 17.43. Esquema detallado estándar de la instalación de una bomba de ariete.

Las bombas de ariete necesitan muy poco mantenimiento o piezas de recambio. Funcionan solas, aunque haya que recebarlas de vez en cuando. Hay numerosos modelos y empresas privadas que venden e instalan bombas de ariete en muchos países como Indonesia o Filipinas (o también países europeos como España o Francia).

9.1.4 LA BOMBA DE ARIETE DESARROLLADA POR ACF-INDONESIA EN 2007/2008

ACF-Indonesia empezó a trabajar en 2007 en Timor Occidental. La tecnología de la bomba de ariete tiene muchas ventajas en esta zona:

– El contexto geomorfológico e hidrológico es muy indicado para el uso de la bomba de ariete; con colinas de mucha pendiente y manantiales a veces muy productivos.

– Por otra parte, las poblaciones son muy pobres y viven de la agricultura en un sistema económico cerrado con muy poca disponibilidad de dinero, lo que hace la instalación de bombas eléctricas y de gasolina casi imposible.

– La sencillez de la bomba de ariete supone una ventaja significativa, puesto que las poblaciones tienen pocos conocimientos técnicos y escasos utensilios para reparar o efectuar el mantenimiento de los componentes.

– Sin embargo, la región es tan remota que presenta muy poco interés para empresas privadas. Pero la sencillez de fabricación de la bomba de ariete permite una fabricación local, evitando así la necesidad de importaciones que conllevan costes de inversión elevados.

En estas circunstancias, ACF desarrolló un modelo de bomba de ariete de construcción local, y después de instalarla con éxito en varios pueblos de la región, llevó a cabo su implantación y difusión en el mercado local por medio de formaciones para los empleados del gobierno, talleres y ONG locales, y, posteriormente, la diseminación de documentación técnica. La bomba presenta las siguientes características:

Detalles técnicos de la bomba de ariete de 2” propuesta por ACF

ALIMENTACIÓN:

- Calibre de la tubería: Ø 2”
- Caudal mínimo de la conducción: 0,6 litros por segundo.
- Caudal máximo de la conducción: 2 litros por segundo.
- Caudal medio de la conducción: 1,3 litros por segundo.
- Altura mínima: 6 metros.
- Altura máxima: 10 metros.

DESCARGA:

- Altura máxima: 150 metros.
- Eficiencia (depende también del sistema): 60%.
- Rango de caudal estimado:1 a 25 litros por minuto.
- Frecuencia de golpeteo: 25 a 50 golpes por minuto.

Figura 17.44. Fotografía de la bomba diseñada por ACF-Indonesia.

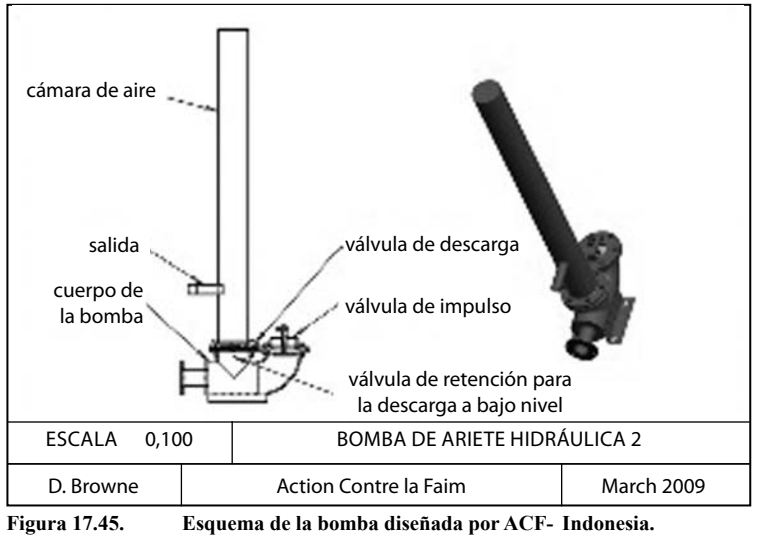


Figura 17.45. Esquema de la bomba diseñada por ACF- Indonesia.

CAPÍTULO XVIII

Sistemas de distribución de agua por gravedad

1 Estudio de viabilidad 446
1.1 Diseño del plan de distribución 446
1.2 Estudio topográfico rápido 449
1.3 Verificación técnica 449
2 Estudio de detalle 449
2.1 Estudio topográfico 449
2.1.1 Selección del trazado de la tubería 449
2.1.2 Metodología para el estudio topográfico 450
2.1.3 Dibujo del perfil topográfico 451
2.2 Diseño hidráulico 452
2.2.1 Perfiles energéticos 452
2.2.1.1 Perfil estático 452
2.1.1.2 Clases de tubos y tanques de cabecera 452
2.1.1.3 Perfil dinámico 453
2.2.2 Cálculo de las pérdidas de carga 454
2.2.2.1 Pérdidas de carga lineales 454
2.2.2.2 Pérdidas de carga secundarias 456
2.3 Diseño de la red 457
2.3.1 Diseño del depósito de almacenamiento 457
2.3.2 Localización de las estructuras 457
2.3.2.1 Depósito de cabecera 457
2.3.2.2 Tanque de almacenamiento 458
2.3.2.3 Tanque de rotura de presión 458
2.3.3 Selección de tipos, diámetros y longitudes de tubos 458
2.3.3.1 Tipos de tubos 458
2.3.3.2 Diámetros de los tubos 459
2.3.3.3 Transporte por gravedad (línea desde el manantial al tanque) 459
2.3.3.4 Distribución por gravedad (desde el depósito a los tuberías de las fuentes de grifos) 460
2.3.3.5 Plano de las válvulas de la red 462
2.3.3.6 Válvulas de regulación 462
2.3.3.7 Válvulas de seccionamiento 462
3 Construcción de la red 463
3.1 Tanques de cabecera y tanques de rotura de presión 464
3.2 Tanque de almacenamiento 464
3.3 Conducciones 465
3.3.1 Tubos y accesorios 465
3.3.1.1 Diámetros equivalentes 465
3.3.1.2 Resistencia a la presión. Clases 465
3.3.1.3 Válvulas y grifos 466
3.3.1.4 Tubos y accesorios galvanizados (AG) 466
3.3.1.5 Tubos y accesorios de PVC 467
3.3.1.6 Tubos y accesorios de polietileno 468
3.3.1.7 Conexiones rápidas 470
3.3.1.8 Herramientas estándar 471
3.3.1.9 Accesorios para la reparación y conexión de tubos de hierro 472
3.3.1.10 Equipo para reparaciones de tubos 472
3.3.1.11 Equipo para tubos que operan a presión 473
3.3.2 Instalación de los tubos 473
3.3.2.1 Zanja 473
3.3.2.2 Tendido del tubo en la zanja 474
3.3.2.3 Rellenado 474
3.3.2.4 Tubos al aire, sobre el suelo 474
3.3.2.5 Cruce debajo de una carretera 475
3.3.2.6 Bloques de retención 476
3.3.2.7 Anclajes 476
3.3.2.8 Indicadores de posición 476
3.3.2.9 Válvulas de drenaje 476
3.3.2.10 Purga de aire (ventosas) 476
3.3.2.11 Cajas de válvulas 476
3.4 Fuentes de grifos 477
3.4.1 Accesorios 477
3.4.2 Construcción 478
4 Distribución de agua de manantiales por gravedad 479
4.1 Planificación 479
4.2 Recursos humanos y financieros 479
4.3 Ejemplo del sistema de Ban Houn 481
5 Distribución de agua de pozos perforados en emergencias 493
5.1 Ejecución 493
5.2 Recursos humanos y financieros 493
6 Distribución de agua desde ríos en emergencias 494
6.1 Operación 494
6.1.1 Bombeo 494
6.1.2 Floculación - sedimentación 495
6.1.3 Desinfección y almacenamiento 495
6.1.4 Unidad móvil de tratamiento 495
6.1.5 Construcción de un tanque rígido tipo OXFAM 495
6.1.6 Filtración - floculación 496
6.2 Ejemplo del sistema de Aswha 496
6.2.1 Estación de bombeo y sistema de distribución 496
6.2.2 Operación 497
6.2.3 Recursos humanos y gestión de la estación 498
6.2.4 Costes del equipo 498
7 Puntos de agua 499
7.1 Movimiento de tierra 499
7.2 Cimientos 500
7.3 Losa (cubeto) de hormigón armado 500
7.4 Fontanería 503
7.5 Mampostería 504
7.6 Canal a nivel constante 505
7.7 Canal de desagüe 505

La necesidad de agua se suele expresar en términos de cantidad y calidad, pero además se debería expresar en términos de accesibilidad. Hay numerosos ejemplos de puntos de agua infrautilizados por su localización tan alejada de las viviendas, o porque el consumo está limitado a causa del largo y penoso viaje para recoger agua. Es esencial, por tanto, que los usuarios tengan un acceso fácil a los puntos de agua.

Este capítulo presenta las técnicas usadas por ACF para el diseño y construcción de sistemas (redes) para el transporte y la distribución de agua por gravedad (Figura 18.1). El transporte de agua por bombeo se trata en el Capítulo XVII.

El ejemplo de una red en la aldea de Aloua, alimentada por un manantial, ilustra las etapas a seguir en este trabajo y un ejemplo del diseño de un sistema se da en este mismo Capítulo.

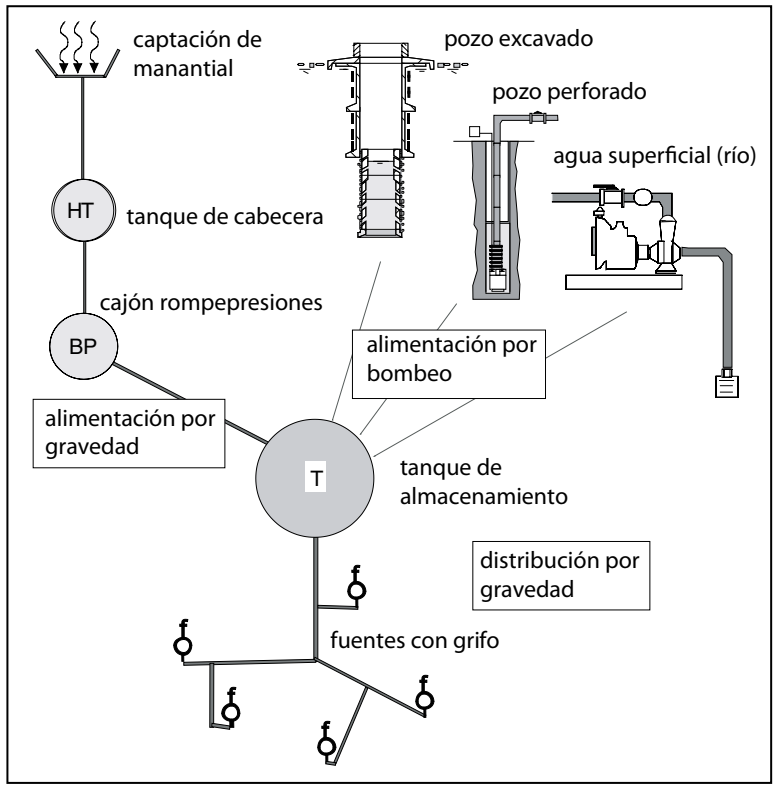


Figura 18.1: Sistema de distribución: esquemas posibles.

1 ESTUDIO DE VIABILIDAD

El diseño de un sistema de distribución por gravedad es un proyecto relativamente largo y difícil de llevar a cabo durante la misión para identificar una intervención. Lo que un estudio de viabilidad intenta definir son los principales aspectos técnicos y presupuestarios del proyecto. Si los resultados iniciales del estudio indican que el proyecto es viable, se emprende un estudio en profundidad.

1.1 Diseño del plan de distribución

Las necesidades se identifican durante una visita de evaluación (ver Capítulo II). A partir de esta investigación, se dibuja un plano del lugar, en el que se registran las necesidades y las zonas de distribución. Estas zonas se delimitan según criterios sociales (origen de la población, diferencias de los distritos, presencia de estructuras sanitarias, factores religiosos, etc.) y técnicos (accesibilidad, topografía, etc.). Se da un ejemplo en la Figura 18.2.

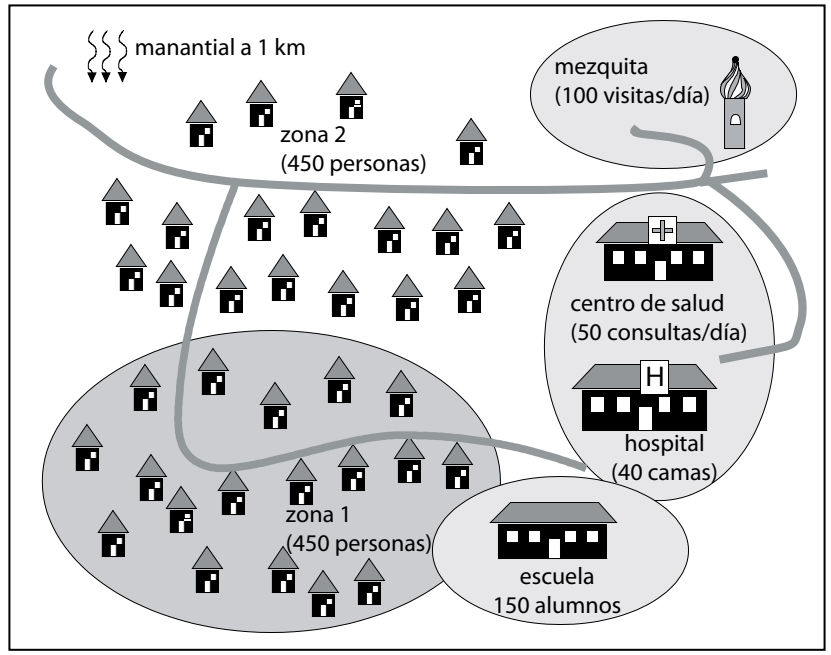


Figura18.2: Plano de planta delimitando las zonas de distribución. Aldea de Aloua.

Las necesidades de agua de la comunidad se identifican en cada zona. Se expresan en un volumen diario y luego en un caudal promedio para el período de tiempo escogido: por ejemplo, en un distrito de 450 personas cuyas necesidades son de 20 l/persona/día, el volumen diario requerido es 450 x 20 = 9000 litros. Si se tiene en cuenta que el consumo diario tiene lugar a lo largo de 10 horas, el caudal a suministrar a la zona es de 9000/10 = 900 l/h. Esto es lo que se conoce como caudal útil. Es necesario definir con precisión el período de utilización del sistema a lo largo del día porque tiene una influencia acusada sobre el caudal útil. En el ejemplo anterior, si el período de utilización fuera de 5 h en vez de 10, el caudal útil se doblaría, a 1800 l/h.

En términos generales, si se asume que el sistema va a usarse continuamente durante 10 horas diarias, los picos de consumo, y por tanto el caudal útil, tienden a modularse uniformemente. Según el contexto cultural, se puede reducir este período de uso hasta 8 ó 6 horas o, incluso, estimar una demanda horaria. Lo que define con exactitud el caudal útil requerido son las costumbres y el ritmo diario de las actividades de la población.

Para la distribución por medio de fuentes públicas (rampas de grifos), el número de grifos viene dado por el caudal útil y el acceso a los puntos de agua, a partir de las cifras indicadas en la Tabla 18.I.

Tabla 18.I: Criterios de diseño para fuentes de grifos.

Caudal de un grifo estándar de ¾" (a 10 m de presión)	0,2 a 0,3 l/s
Caudal de un grifo Talbot (a 5 m de presión)	0,1 a 0,2 l/s
Número máximo de personas por grifo	150
Distancia máxima entre dos puntos de distribución	250 m

En el ejemplo anterior, el caudal útil de 900 l/h (o 0,25 l/s) puede distribuirse por 0,25 l/s/0,2 l/s = 1,25, o sea dos grifos tipo Talbot. Con una población de 450 personas, es preferible instalar 450 personas/150 personas/grifo = 3 grifos para que disminuya el tiempo de espera en las fuentes. Los tres grifos se instalan en uno o más pedestales según sea la superficie de la zona (la distancia máxima entre dos pedestales ha de ser inferior a 250 m).

El diseño de la red debe permitir su uso durante al menos 10 años. Para ello hay que tener en cuenta el crecimiento normal de la población, más la posibilidad de un crecimiento adicional debido, por ejemplo, a la disponibilidad de agua o a la construcción de una carretera (Tabla 18.II).

Tabla 18.II: Cálculo de las necesidades para la aldea de Aloua. Enero 1995, tasa de crecimiento anual: 2%.

	Número actual	Número en 10 años	Necesidad unitaria l/pers/día	Necesidad total m^3/día	Número de grifos a 0,25 l/s
Centro de salud	50 consultas	60	20	1,2	1
Hospital	40 camas	48	50	2,4	1
Escuela	150 alumnos	180	10	1,8	1
Centro religioso	100 visitantes	120	10	1,2	1
Población	900	1 080	40	43,2	6*
Necesidad total de agua (m^3/día)	49,9				
Necesidad de fuentes de 1 grifo	4				
Necesidad de fuentes de 2 grifos	0				
Necesidad de fuentes de 3 grifos	2				

* Errata: Para los cálculos del ejemplo, se tomó en cuenta el número de personas inicial para el cálculo del número de grifos (450 pers. por zona, que resulta en 3 grifos por fuente, con el estándar del 150 personas por grifo), cuando se hubiera debido coger el número de personas final después del crecimiento anual de 2% (540 pers. por zona, que resulta en 4 grifos por fuente).

Una vez determinado el número de fuentes y de grifos, se indica en el plano de planta la información sobre los caudales máximos en cada ramal de distribución (caudal máximo = número de grifos en servicio x caudal unitario del un grifo, ver la Figura 18.3). En el ejemplo de Aloua, se usó un caudal unitario de 0,25 l/s por grifo. El plano de planta completado de esta manera es una herramienta de trabajo esencial para determinar los diámetros y longitudes de las líneas de tubos a usar en conjunción con los perfiles topográficos. En la Figura 18.11 se da una relación de los símbolos usados.

Los caudales máximos instantáneos calculados de esta manera aseguran la distribución de un volumen diario mayor del que se necesita (el número de grifos se redondea al alza en cada zona). En el ejemplo de Aloua, las necesidades diarias se cifraron en 49,8 m^3, mientras que la suma de caudales máximos es (0,75 x 2) + (0,25 x 4) = 2,5 l/s o 9000 l/h a lo largo de un período de seis horas, o 54 m^3/ día. En la práctica, el caudal que circulará por la red no se corresponderá con el caudal máximo instantáneo, cuando todos los grifos están abiertos. El resto del tiempo, el caudal que circulará será menor y el volumen diario distribuido estará más próximo al calculado según las necesidades.

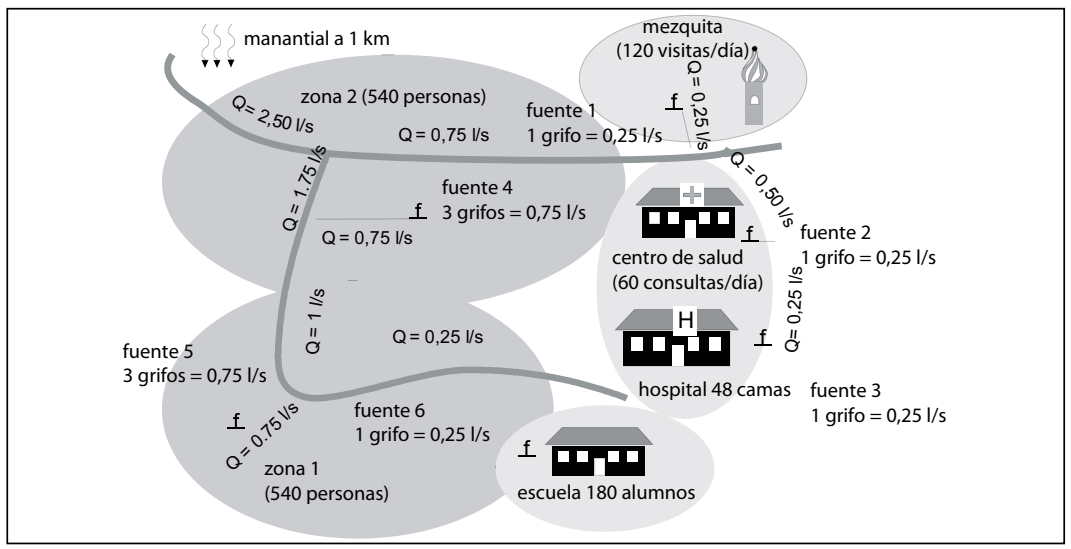


Figura 18.3: Indicación de las líneas de distribución, caudales y número de grifos.

1.2 Estudio topográfico rápido

El objetivo consiste en determinar si la diferencia de cota entre los diferentes puntos del sistema (red de distribución) es suficiente para que el agua fluya por gravedad a todos los puntos.

Se puede hacer una estimación rápida usando simplemente un altímetro. Se realizan medidas de altitud en los puntos más significativos de la red de tubos, incluyendo los puntos altos, bajos, áreas a suministrar, etc. Las distancias sobre el suelo se miden en pasos.

Como el altímetro mide realmente la presión atmosférica, las medidas de altitud se han de realizar con referencia a la de un punto concreto (altitud fija), con la que se comparan todas las lecturas realizadas por el operador móvil desplazándose de un sitio a otro.

Una ficha para el registro rápido de las medidas se da en la Tabla 18.III.

Tabla 18.III: Ficha resumen de medidas de altimetría.

Lecturas del operador móvil sobre la ruta de la tubería						Lecturas del asistente estático	
Hora / Minuto	Distancia sobre el suelo(m)	Distancia (acumulada) (m)	Altitud (m)	Comentarios		Hora / minuto	Altitud (m)

1.3 Verificación técnica

Para verificar la viabilidad del sistema se deben cumplir dos condiciones: la cantidad de agua disponible en el origen debe ser suficiente para cubrir las necesidades, y la topografía debe permitir la distribución por gravedad. Una vez determinadas las necesidades de cada zona, es sencillo determinar la viabilidad del sistema en términos de cantidad: el caudal durante 24 horas debe ser igual o superior a las necesidades diarias de la comunidad.

Para poder distribuir por gravedad, la pendiente entre el punto más alto del sistema (depósito o captación de manantial) y el punto más alejado debe ser superior a 1%. Si en un perfil topográfico se traza una línea con pendiente del 1% desde el punto más elevado, ningún punto de la red debe tener una cota superior a esa línea.

Si se cumplen estas dos condiciones, se puede decir que es factible la construcción de un sistema de distribución por gravedad que cubrirá las necesidades de la población. No obstante, esto se debe confirmar aún con un estudio detallado.

2 ESTUDIO DE DETALLE

2.1 Estudio topográfico

El estudio topográfico es una parte esencial del método de diseño de un sistema gravitatorio. Este estudio de las diferencias de cota permite determinar balances de energía y el cálculo de caudales, velocidades y pérdidas de carga en todos los puntos de la red.

2.1.1 SELECCIÓN DEL TRAZADO DE LA TUBERÍA

Es posible establecer un itinerario teórico para la tubería que evite pasos difíciles con un mapa o fotografía aérea, pero la ruta definitiva solo se puede establecer visitando la zona (recorrido exhaustivo a pie, etc.) con alguien que conozca bien la localidad. Para definir el itinerario, se han de tener en cuenta los siguientes conflictos posibles:

– minimizar el número de cruces difíciles: caminos, barrancos, etc.;
– evitar pendientes acusadas: anclaje difícil de la tubería;
– evitar zonas rocosas: excavación difícil de las zanjas;
– buscar zonas accesibles: junto a caminos existentes, por ejemplo;
– tener en cuenta los problemas de propiedad del terreno y autorizaciones;
– ser conscientes de los problemas comunitarios asociados a la ocupación del suelo (jardines, casas, etc.).

2.1.2 METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO TOPOGRÁFICO

La apreciación rápida realizada durante el estudio preliminar se debe confirmar y detallar con un estudio más exacto. La técnica más fácil a usar en el campo consiste en el uso de un nivel topográfico. Se recomienda el uso de un teodolito, ya que da muy buena precisión en las medidas. No obstante, se puede usar un nivel Abney o un clinómetro en terrenos poco accesibles.

El principio del nivel Abney y del clinómetro consiste en la medida del ángulo existente entre un punto determinado y la horizontal. Si la distancia, sobre el terreno, entre este punto y el instrumento de medida se conoce, es fácil calcular la diferencia de nivel (multiplicando la distancia sobre el terreno por el seno del ángulo en grados).

Se toman dos medidas por cada punto, una midiendo hacia adelante y otra desde el punto medido hacia el punto donde estaba el instrumento previamente, para confirmar la medida. La distancia sobre el terreno se mide con una cinta métrica.

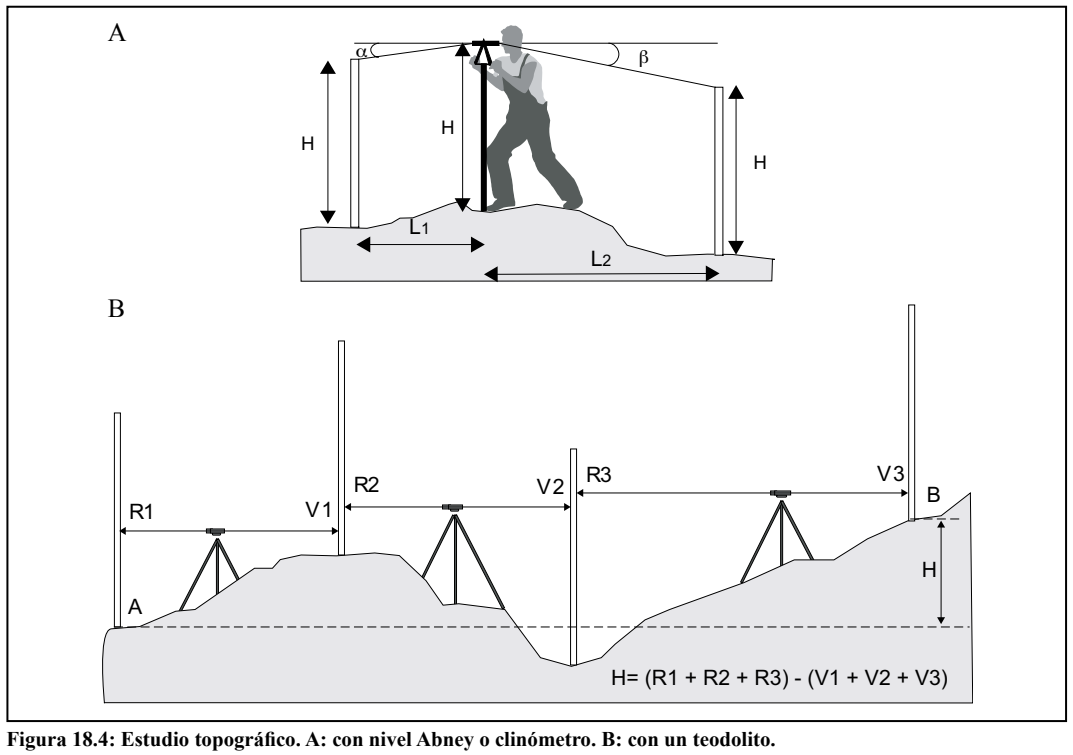


Figura 18.4: Estudio topográfico. A: con nivel Abney o clinómetro. B: con un teodolito.

El nivel Abney o clinómetro (Figura 18.4 A) se debe colocar sobre una regleta para asegurar su estabilidad. Las lecturas se toman sobre la parte superior de las regletas de madera sostenidas por los asistentes. Las tres regletas deben tener exactamente la misma longitud.

El teodolito (Figura 18.4B) puede tener alta precisión y puede medir también distancias horizontales con el medidor de distancias "rangefinder" del telescopio. Estas distancias se corresponden con las distancias horizontales entre dos puntos y no con las distancias sobre el suelo (las que se deben conocer por ser las longitudes de tubería que se necesitan). La distancia sobre el suelo se mide con una cinta métrica o se calcula con el ángulo medido con el instrumento y la distancia horizontal leída en el telescopio.

La lectura se realiza enfocando y visualizando las regletas sostenidas verticalmente por los asistentes.

2.1.3 DIBUJO DEL PERFIL TOPOGRÁFICO

Los estudios topográficos se representan como un perfil que ilustra los balances energéticos del agua en la tubería. Es útil también dibujar cada perfil en un plano en el que aparezcan todos los puntos singulares y las conexiones con otras tuberías (Figura 18.5).

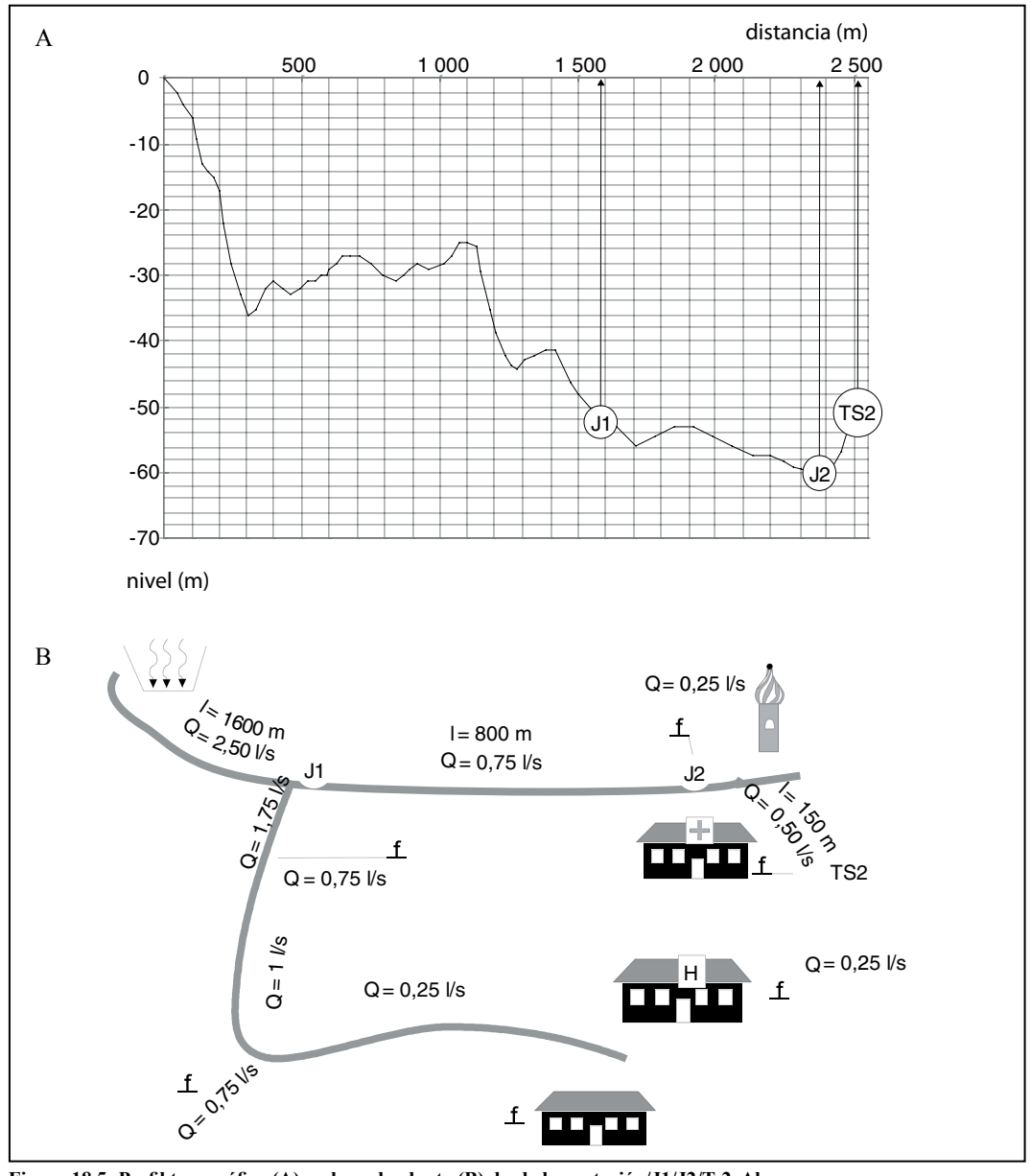


Figura 18.5: Perfil topográfico (A) y plano de planta (B) desde la captación/J1/J2/Ts2, Aloua.

2.2 Diseño hidráulico

2.2.1 PERFILES ENERGÉTICOS

2.2.1.1 PERFIL ESTÁTICO

El perfil estático de presión ilustra la energía del agua a caudal cero (grifos cerrados). La presión en un punto de un tubo cerrado bajo presión (Q = 0) puede considerarse igual al peso de la columna de agua existente entre el punto más elevado de la tubería y el punto en consideración (ver Anexo 6). Esta presión, conocida como presión estática, es la fuerza que impulsa el sistema: en otras palabras, la diferencia de nivel entre cualquiera de los puntos del sistema y el punto más alto es lo que provoca el movimiento del agua, desde el depósito de almacenamiento (o captación del manantial) hasta los grifos. La presión estática se expresa en metros de columna de agua, de modo que:

$$P_{estática}\ (mca) = H\ (m)$$

donde H es la diferencia de nivel entre el punto más alto y el punto en consideración. En la Figura 18.6, el punto más alto es la superficie libre del agua en el tanque

En redes sencillas, la presión estática es la presión máxima que puede haber dentro de los tubos. Determina, por tanto, la presión que deben aguantar los tubos y si es necesario usar limitadores de presión.

2.2.1.2 CLASES DE TUBOS Y TANQUES DE CABECERA

Los tubos que se utilizan pueden aguantar una presión determinada, conocida como presión nominal (PN), si la presión interior de los tubos es superior existe riesgo de rotura. La PN se expresa generalmente en bares. Las clases más usuales de presiones nominales se dan en la Tabla 18.IV.

Tabla 18.IV: Clases de presiones nominales de tuberías de distribución.

PE (polietileno)	PVC (cloruro de polivinilo)	AG (acero galvanizado)
PN 6	PN 6	PN 16
PN 10	PN 10	PN 25
PN 12,5		

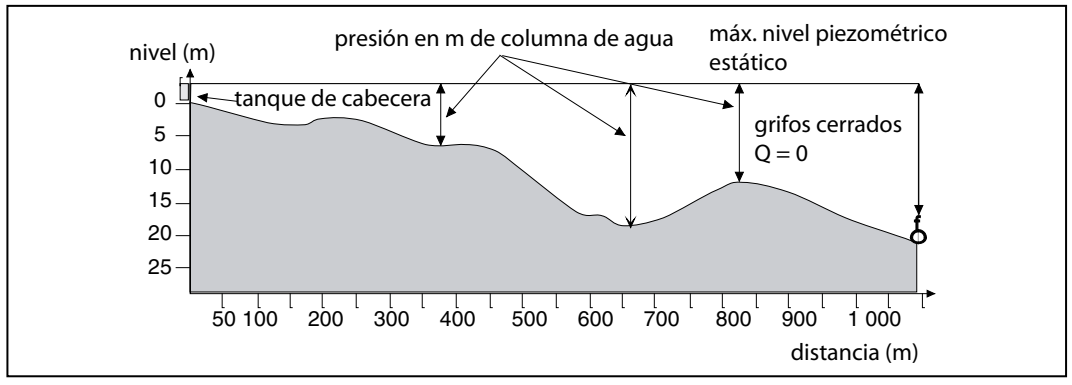


Figura 18.6: Presión estática en una red de tuberías.

Se puede definir la clase de tubería necesaria a partir del perfil de presión estática. En la Figura 18.7, el nivel estático en el punto más bajo de la red es de 75 m de columna de agua o 7,5 bares. Un tubo de una presión nominal de 6 bares (PN6) no sería adecuado, es preciso usar un tubo PN10.

Si la presión que impone la topografía del terreno es demasiado grande para el tipo de tubería disponible siempre será posible intercalar tanques intermedios para romper la presión estática y hacerla atmosférica en este punto. Siempre que haya una superficie libre en contacto con la atmósfera, la presión estática relativa se convierte en cero, al ser esta presión igual a la presión atmosférica[1].

En una red de distribución, las superficies libres son los tanques de cabecera, tanques primarios, tanques de rotura de presión y tanques de recogida. En el ejemplo de la Figura 18.7 la clase de la tubería debía ser PN10. Sin embargo, si sólo se dispone de tubería PN6, se podría instalar un tanque de rotura de presión para controlar el exceso de presión. La figura 18.8 ilustra la instalación de un tanque de rotura de presión para limitar la presión estática máxima a 32 m de columna de agua en el tramo superior y de 43 m en el tramo de aguas abajo.

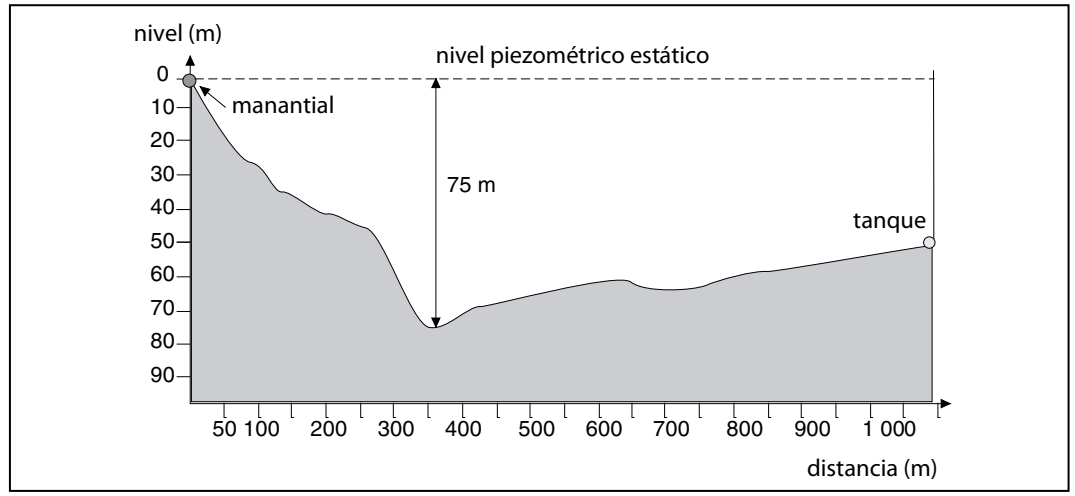


Figura18.7: Perfil estático y clases de tuberías de presión.

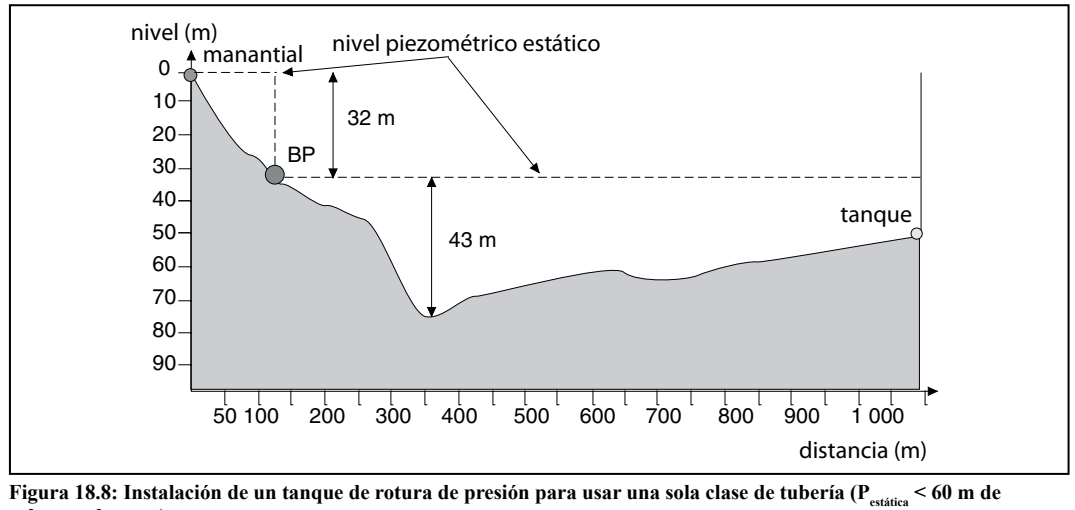


Figura 18.8: Instalación de un tanque de rotura de presión para usar una sola clase de tubería ($P_{estática}$ < 60 m de columna de agua).

2.2.1.3 PERFIL DINÁMICO

Cuando circula agua por una tubería, se originan pérdidas de presión debidas al rozamiento del agua. Estas pérdidas de presión se suelen llamar "pérdidas de carga" (ver Anexo 12).

Si se traza la línea de pérdida de carga mientras fluye el agua, se obtiene el perfil dinámico de carga (Figura 18.9).

1. Hablamos aquí de presión relativa, p.ej. relacionada a la presión atmosférica que es igual en todo el sistema. Presión cero significa presión atmosférica ($P_{atmosférica}$).

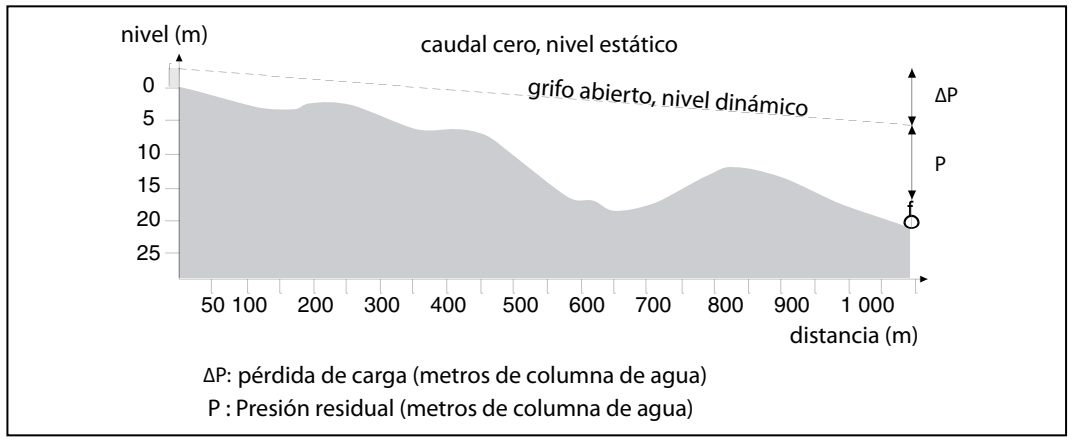


Figura 18.9: Presión dinámica y pérdida de carga.

Parte de la presión total se disipa en forma de pérdidas de carga (ΔP) durante la circulación del agua. La presión residual se define entonces por:

$P_{residual} = H – \Delta P$

donde $P_{residual}$ es la presión existente en el punto considerado (m de columna de agua), H es la diferencia de nivel entre el punto de mayor elevación y el que se considera (m), y ΔP es la suma de pérdidas de carga (m) debidas al flujo del agua.

2.2.2 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA

Para facilitar el cálculo de las pérdidas de carga, se consideran por separado las pérdidas originadas en los tubos y las originadas en los accesorios (codos, tes, válvulas,…).

2.2.2.1 PÉRDIDAS DE CARGA LINEALES

Las pérdidas de carga en un tubo, llamadas pérdidas lineales, dependen de varios factores:

– diámetro del tubo: para un caudal determinado, cuanto más delgado sea el tubo mayores serán las pérdidas;

– circulación dentro del tubo: para un diámetro dado, las pérdidas aumentan con el caudal;

– longitud de la tubería;

– rugosidad interior del tubo: a mayor rugosidad, mayores pérdidas (si los demás parámetros no varían). La rugosidad de los tubos depende de la calidad (materiales, fabricación) y del envejecimiento.

Las pérdidas lineales se expresan generalmente en términos de metros de carga por 100 de tubería. Un coeficiente de pérdida de carga de 1% se corresponde con una pérdida de presión de 1 m de columna de agua por cada 100 m de tubo.

El cálculo numérico de las pérdidas lineales se realiza generalmente usando relaciones empíricas, tablas o gráficos de diseño (ver Anexo 12).

Fórmulas

Hay varias fórmulas para calcular las pérdidas lineales en un tubo. Las más precisas (Darcy y Colebrook-White, por ejemplo) requiere cálculos iterativos complejos para su uso en terreno, y por ello se han desarrollado otros métodos como la fórmula Hazen Williams[1], de uso relativamente sencillo:

$$h_F = \frac{10{,}9\ L\ Q^{1{,}85}}{C^{1{,}85}\ D^{4{,}87}}$$

1. Fórmula válida para V<3m/s y Re>4000, donde V=Velocidad del caudal (m/s) y Re=Número de Reynolds (relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de viscosidad, usado para determinar si el flujo en el tubo es lineal o turbulento).

donde: h_F: es la pérdida de carga (m); L: longitud de la tubería (m); Q: caudal (m^3/s); C: Coeficiente de Hazen Williams (C= 150 para PVC y PE; C= 130 para hierro galvanizado); D: diámetro interno del tubo (m)

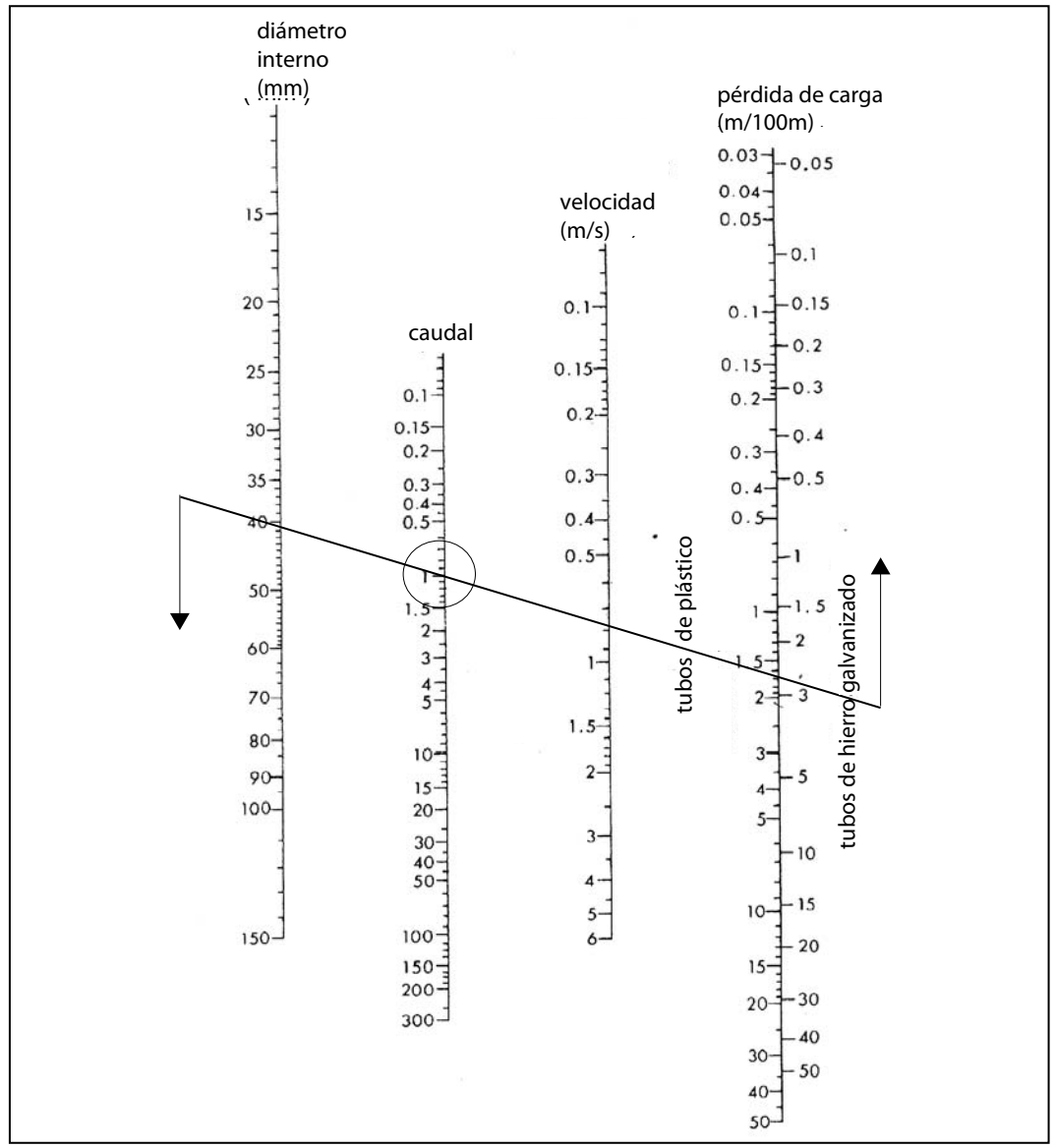


Figura 18.10: Nomograma para el cálculo de pérdidas lineales.

Uso de gráficos de diseño

El gráfico de diseño (o nomograma) mostrado en la Figura 18.10 proporciona la relación gráfica entre el diámetro del tubo, velocidad del flujo, y las pérdidas lineales para una rugosidad determinada. Conociendo dos parámetros (diámetro y caudal), se pueden deducir las pérdidas de carga.

Por ejemplo, tomar un caudal de 1 l/s en un tubo de polietileno de DN 50 (50 mm de diámetro exterior y 40,8 mm de diámetro interior) de acuerdo con el nomograma, el coeficiente de pérdida de carga es 1,7%. Si hay que reducir las pérdidas de carga, se hace girar la línea (como lo indican las flechas) alrededor del caudal seleccionado para obtener un diámetro de tubo nuevo con un coeficiente

de pérdida de 1% para el mismo caudal (1 l/s), se debe usar por tanto un tubo de DN 63 (diámetro interno de 51,4 mm), (ver Tabla 18.V).

Cuando se usan nomogramas, es importante verificar los puntos siguientes:

– el gráfico de diseño corresponde al tipo de tubo usado (PE, PVC, hierro galvanizado, fundición, etc.). Es esencial verificar su validez cuando se calculan las pérdidas de carga usando las fórmulas adecuadas (ver Anexo 12);

– la velocidad en un tubo ha de estar alrededor de 1 m/s. Velocidades superiores pueden generar un rozamiento excesivo, que puede originar, a su vez, problemas hidráulicos. Por otra parte, velocidades más bajas pueden originar depósitos de sólidos en algunos puntos del sistema si el agua es turbia.

Tabla 18.V: Ejemplo del uso de un nomograma para las pérdidas lineales.

Caudal de carga(l/s)	Diámetro interno (mm)	Velocidad (m/s)	Pérdida de carga P(%)	Coeficiente de pérdidas por kilómetro (m col. agua)
1	40,8 (DN 50)	0,8	1,7	17
1	51,4 (DN 63)	0,5	0,6	6

2.2.2.2 PÉRDIDAS DE CARGA SECUNDARIAS

Además de las pérdidas lineales en los tubos, hay pérdidas de presión debidas a la regulación del caudal (válvulas), y al paso por los accesorios de los tubos, como los codos, tes, reducciones, etc. Estas pérdidas de presión se llaman menores o secundarias y se pueden evaluar de la misma manera que las lineales.

Tabla 18.VI: Longitudes equivalentes (m) de los accesorios de plástico (Lencastre).

Diámetro de los accesorios (DN en mm)	12,5	25	50	75	100
Válvula de esfera	1,83	4,78	12	20,37	30,3
	3,61	9,17	23	39,98	58,38
Válvula de compuerta	0,014	0,055	0,11	0,19	0,3
	0,055	1,66	0,41	0,75	1,11
Válvula de ángulo	1,08	2,75	6,92	11,75	17,51
Válvula horizontal de retención	0,8	0,055	0,14	0,22	0,36
		2,11	5,28	9	13,42
Válvula de pie	5,42	13,76	34,75	58,93	87,57
Reducción atornillada	0,72	0,055	0,11	0,19	0,3
		1,83	4,61	7,83	11,6
Codo normal de 90º	0,22	0,55	1,39	2,36	3,5
	0,33	0,84	2,08	3,53	5,25
Codo de 45°	0,08	0,19	0,5	0,86	1,27
	0,11	0,27	0,69	1,33	1,75
Te normal	0,3	0,77	1,97	3,33	4,94
	0,44	1,19	3	5,08	7,58

En redes sencillas, las pérdidas secundarias son generalmente pequeñas comparadas con las lineales. A veces se asume que son del orden del 10% de las lineales. Sin embargo, se pueden calcular también usando coeficientes característicos para cada accesorio. Así como para los tubos hay nomogramas y gráficos, a los accesorios se les asigna una longitud equivalente de tubo recto. Por ejemplo un codo de 90º de un DN 50 se corresponde, desde un punto de vista de pérdida de carga, con una longitud de tubería recta de 1,5 m del mismo diámetro. Esto permite simplificar el cálculo de las pérdidas de carga en una red.

La Tabla 18.VI da las longitudes equivalentes de tubo (en términos de pérdida de carga por fricción) para accesorios corrientes de PVC o PE. En los tubos de hierro galvanizado estos valores se han de multiplicar por 0,64. Cuando se dan dos valores dentro de la misma categoría, significa que hay un rango de valores de longitud equivalente dados por parámetros diferentes. En términos generales, accesorios enroscados crean mayor pérdida de carga que los que están unidos o cementados.

2.3 Diseño de la red

Los documentos requeridos para el diseño de una red de distribución son los perfiles topográficos completos del sistema y el plano con los caudales máximos para cada sección del sistema.

Los documentos que se producirán serán los perfiles de presiones para la red entera, el plano de detalle de la red, la tabla resumen de los perfiles con todos los detalles de las secciones de la red, y la situación de las válvulas. Los símbolos usados generalmente para las estructuras y los accesorios se dan en la Figura 18.11.

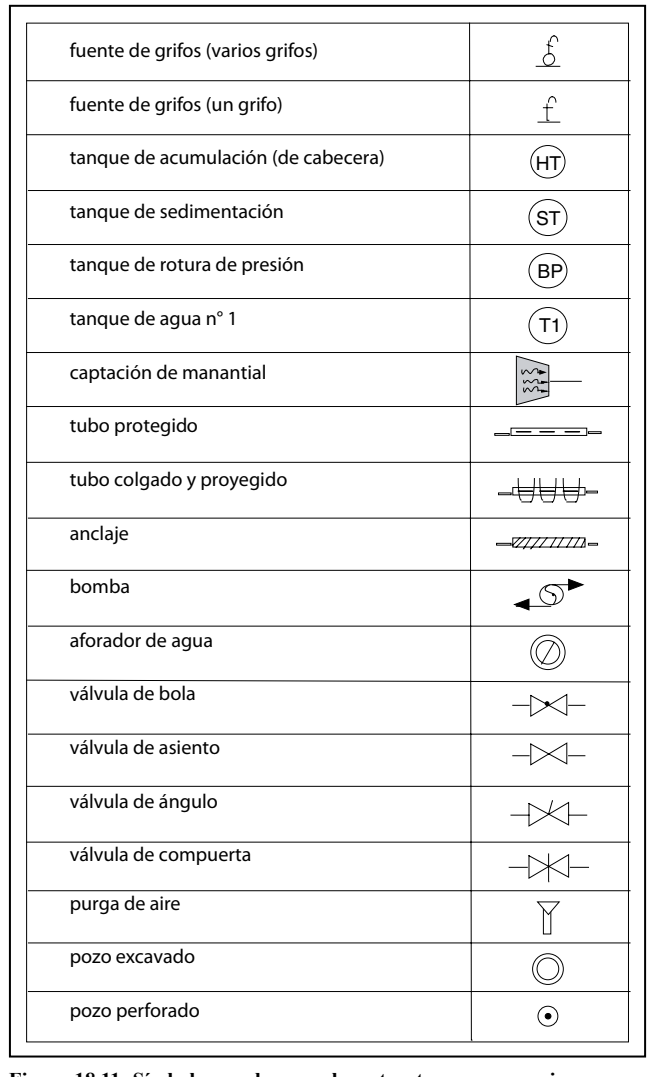


Figura 18.11: Símbolos usados para las estructuras y accesorios.

2.3.1 DISEÑO DEL DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO

En el caso de un suministro por gravedad a partir de un punto tal como un manantial, un depósito para acumular agua no es siempre estrictamente necesario. Si el caudal útil (calculado sobre la base de demanda horaria máxima) es menor que la producción horaria mínima del manantial, un depósito de almacenamiento no tiene utilidad. En este caso, se tiene también la ventaja de que no se necesitan grifos en las fuentes. Si es necesario disponer de un tanque de acumulación (almacenamiento), es preciso diseñarlo cuidadosamente (ver Capítulo VII).

2.3.2 LOCALIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

2.3.2.1 DEPÓSITO DE CABECERA

Es esencial disponer de un depósito de cabecera en los casos de distribución por gravedad desde un manantial. (Figura 18.1). Aísla hidráulicamente el sistema de recogida de agua del manantial de la red y evita por tanto cualquier posible retroceso accidental de presión hacia el manantial en caso que surjan problemas en la red. También ayuda a modular uniformemente el caudal del manantial.

Las condiciones del lugar y las dificultades en el transporte de materiales suelen determinar la situación exacta, aguas abajo de la recogida del manantial. El perfil hidráulico de la red empieza desde este punto.

2.3.2.2 *TANQUE DE ALMACENAMIENTO*

La ubicación de este tanque viene determinada por la necesidad de suministrar por gravedad las fuentes con grifos situadas aguas abajo En primera aproximación, se asume que las pérdidas de carga en la parte de la red a partir del tanque son del orden del 1%. Se traza una línea recta de 1% de pendiente desde la fuente de grifos más elevada (teniendo en cuenta una presión residual mínima de 10 m de columna de agua). Los puntos situados por debajo de esta recta no son situaciones adecuadas para el tanque (Figura 18.12).

El sitio escogido debe verificarse entonces, calculando las pérdidas de carga reales. En cualquier caso, se debe tener en cuenta cualquier problema potencial de propiedad de las tierras y de accesibilidad (para el transporte de materiales de construcción y equipos, mantenimiento, etc.). Se puede calcular el tiempo de vaciado del tanque (Cuadro 18.1).

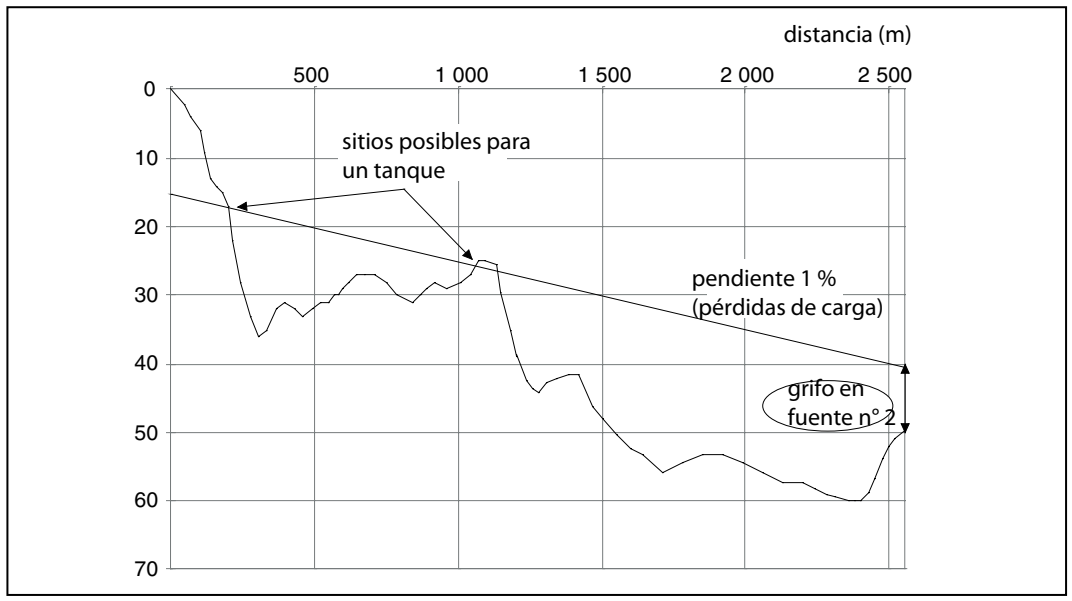


Figura 18.12: Selección de la ubicación del tanque (ej. de la red de Aloua). Hay 2 sitios posibles. El superior está en una zona de gran pendiente y el otro está sobre una elevación del terreno a medio camino entre el punto de agua y la fuente nº 2. Situando el tanque aquí, también realizará una función rotura de presión, con lo que disminuirá la presión estática máxima de la red a 35 m de columna de agua.

2.3.2.3 *TANQUE DE ROTURA DE PRESIÓN*

La necesidad y localización de los tanques de rotura de presión se determinan a partir del estudio del perfil estático (ver Sección 2.2.1).

2.3.3 SELECCIÓN DE TIPOS, DIÁMETROS Y LONGITUDES DE TUBOS

2.3.3.1 *TIPOS DE TUBOS*

Casi siempre se suelen seleccionar tubos de polietileno para diámetros hasta 3". Para diámetros superiores, los tubos son difíciles de manejar (menos flexibles, pesados, requieren uniones soldadas). El PVC es fácil de usar y se halla disponible en la mayoría de los países. En cambio, los tubos de acero galvanizado (AG) son los que se deben usar en los tramos que no van enterrados, en los cruces de barrancos, y secciones fijadas con mampostería. Ver la Sección 3.3 para más detalles sobre los tubos.

Cuadro 18.1
Tiempo de vaciado de un tanque de almacenamiento.

Tanque con salida
El tiempo de vaciado de un tanque con una salida lateral viene dado por:

$$t = \frac{2S\,(\sqrt{h_1} - \sqrt{h_2})}{ks\sqrt{2g}}$$

donde t es el tiempo de vaciado (s), S el área del tanque (cm^2), s el área de la salida (cm^2), g aceleración de la gravedad (981 cm/s), h_1 la altura inicial (cm) del agua sobre la salida, h_2 la altura final (cm) del agua sobre la salida ($h_2 = 0$ si el vaciado es total), y k es un coeficiente de contracción (según el tipo de salida, $0{,}5 < k < 1$). Para una salida de pared fina, k = 0,62; para el caso de un accesorio cilíndrico soldado, k = 0,5; para un accesorio cilíndrico externo, k = 0,82.

Tanque conectado a un tubo abierto – caudal máximo gravitatorio
Cuando la presión residual de un tubo que descarga libremente a la atmósfera es cero, el caudal que pasa por el tubo es el caudal máximo gravitatorio.

En estas condiciones, las pérdidas de carga J al final del tubo se corresponden con el desnivel total h. Conociendo la distancia entre los dos puntos, l, es sencillo calcular el caudal Q, o leerlo de un nomograma (Figura 1).

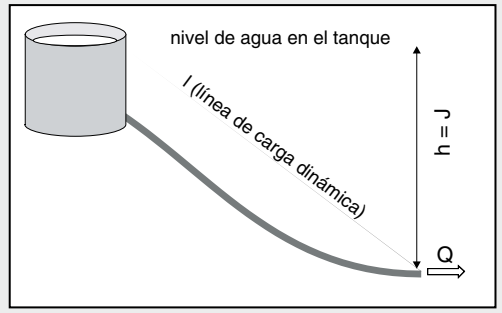


Figura 1: Caudal máximo gravitatorio.

2.3.3.2 *DIÁMETROS DE LOS TUBOS*

Los diámetros se determinan a partir del estudio del perfil energético y los cálculos de pérdidas de carga. Los límites recomendados de velocidad en tubos son un máximo de 3 m/s y un mínimo de 0,5 m/s. Las presiones residuales de una red deben estar de acuerdo con las reglas siguientes:

– de 2 a 10 m de columna de agua para las entradas a tanques, depósitos, etc.;
– de 5 a 15 m de columna de agua para los grifos (5 m para el grifo Talbot);
– 10 m de columna de agua mínimo para las líneas principales de distribución, para evitar que se filtre agua desde el exterior hacia el interior de las tuberías. La presión de trabajo de la red garantiza la calidad del agua que distribuye.

2.3.3.3 *TRANSPORTE POR GRAVEDAD (LÍNEA DESDE EL MANANTIAL AL TANQUE)*

La parte de la red que alimenta un depósito desde la recogida del manantial (Figura 18.1) se diseña para permitir el paso del caudal máximo del manantial por el tubo. Es importante que sea capaz de captar y transportar el caudal total del manantial para llevarlo al depósito, aunque las necesidades habituales de la población sean inferiores, porque permitirá la expansión futura de la red. Si el caudal del manantial es muy superior a las necesidades de la población, o si fluctúa considerablemente a lo largo del año, se debe determinar una solución de compromiso adecuada.

2.3.3.4 DISTRIBUCIÓN POR GRAVEDAD (DESDE EL DEPÓSITO A LOS TUBERÍAS DE LAS FUENTES DE GRIFOS)

El diseño de una red parte de la línea principal, continuando por las secundarias y sigue así sucesivamente hasta que el diámetro escogido da la presión residual requerida.

En el ejemplo de la Figura 18.13, la $P_{residual}$ viene dada por la diferencia de nivel entre el punto B a nivel del suelo y el del perfil piezométrico vertical sobre este punto. El diámetro requerido es DN 50, porque la presion residual para fuentes de grifos tipo Talbot debe ser entre 5 y 15 metros:

– para un tubo DN 50, la $P_{residual}$ es positiva e igual a 14 m.c.a.;
– para un tubo DN 40, la $P_{residual}$ es también positiva e igual a 4,1 m.c.a.;
– para un tubo DN 32, la $P_{residual}$ es negativa e igual a – 41 m.c.a..

La Figura 18.14 muestra un punto elevado en el que la presión debe mantenerse sobre los 10 m de columna de agua.

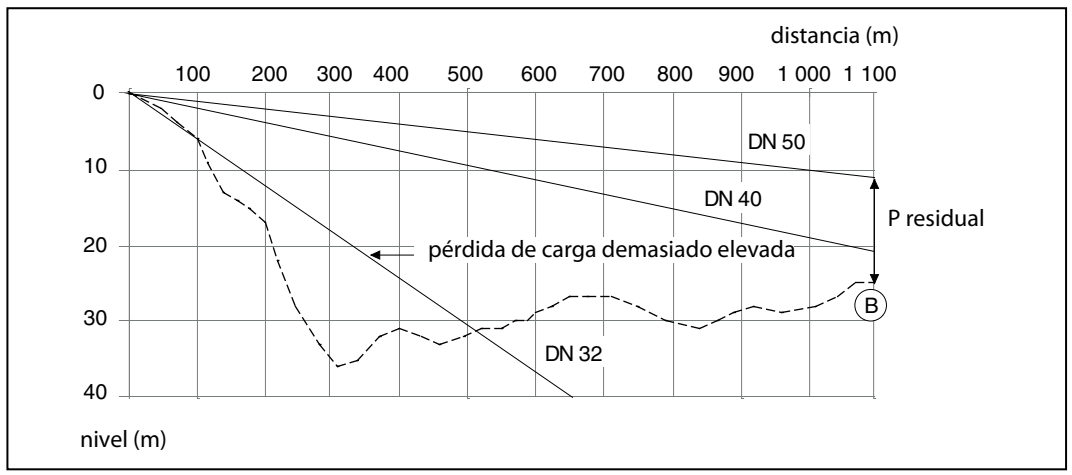


Figura 18.13: Pérdidas de carga para tubos de varios diámetros en la primera parte de la red de Aloua.

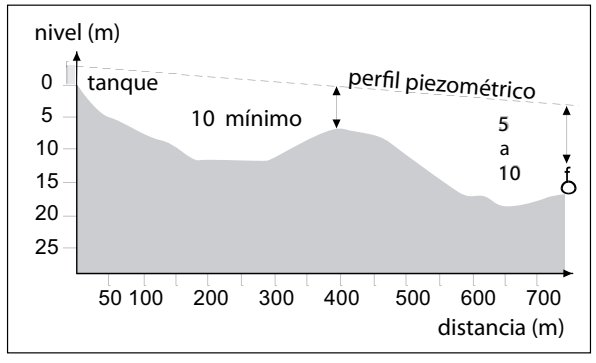


Figura 18.14: Paso sobre un punto elevado.

Es mejor usar tubos de bajo diámetro, ya que son más baratos, y se pueden usar dos diámetros diferentes en la misma línea para optimizar costes (Figura 18.15).

Los perfiles de carga de varias líneas, acompañados por un diagrama resumen total, permiten compilar toda esta información. El ejemplo de la línea de suministro a la fuente nº 2 de la red de Aloua se ilustra en la Tabla 18.VII y Figura 18.16.

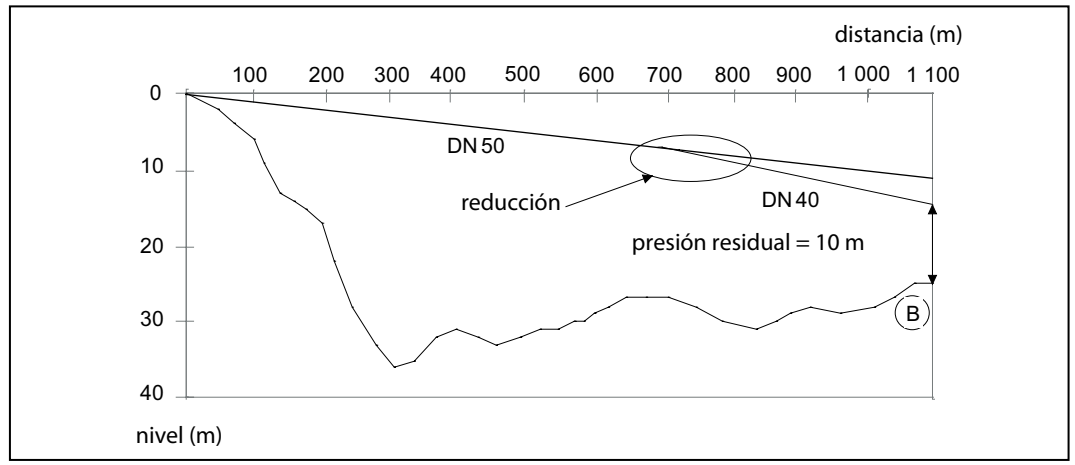


Figura 18.15: Combinación de dos diámetros de tubo para obtener una presión residual de 10 m de columna de agua en el punto B (ejemplo de la primera parte de la red de Aloua).

Tabla 18.VII: Sumario de la línea principal que suministra a la fuente nº 2 de la red de Aloua. P_s, presión estática; P_h, presión dinámica.

Punto estación (1)	Punto estación (2)	Caudal (l/s)	OD (mm)	long. L (m)	ΔP (A %)	ΔP (m)	P_h (1) (mca)	Nivel registrado (2) (m)	P_h res (2)
Manantial	Rotura presión	0,7	50	330	1	3,3	0	36	32,7
Rotura presión	Tanque	0,7	40	770	1,9	14,7	32,7	25	7,7
Tanque	J1	2,5	63	500	1,4	7	0	52	20
J1	J2	0,75	50	800	0,87	7	20	60	21
J2	Ts2	0,5	40	150	0,7	1	21	49.85	10,25

Manantial - depósito

El caudal tomado para el diseño es el máximo del manantial. Se usa una combinación de dos diámetros de tubo en esta sección.

• Manantial – Rotura presion

Presión en la rot.pres.	= P_s reducción	– ΔP		ΔP = A (%) x L(m)
P_h rot.pres.	= 36	– 3,3	= 32,7 mca	ΔP = 1 x 330 = 3,3 mca

• Reducción – Tanque

Presión en el tanque	= P_h reducción + (P_s tanque – P_s reducción)		– ΔP	ΔP = A (%) x L(m)
P_h tanque	= 32,7 + (25 – 36)	- 14,7	= 7 mca	ΔP = 1,9 x 770 = 14,7 mca

Tanque – Fuente nº 2

Como el tanque tiene una superficie al aire, la presión en ella es cero (presión relativa).

• Tanque – J1

Presión en J1	= P_h tanque + (P_S J1 – P_s tanque)		– ΔP	ΔP = A (%) x L(m)
P_h J1	= 0 + (52 – 25)	– 7	= 20 mca	ΔP = 1,4 x 500 = 7 m

• J1 – J2

Presión en J2	= P_h J1 + (P_s J2 – P_s J1)		– ΔP	ΔP = A (%) x L(m)
P_h J	= 20 + (60 – 52)	– 7	= 21 mca	ΔP = 0,87 x 800 = 7 m

• J2 – Fuente nº 2 (Ts2)

Presión residual en la fuente nº 2 (Ts2)	= P_h J2 + (P_s BF2 – P_s J2)		– ΔP	ΔP = A (%) x L(m)
P_h fuente nº 2	= 21 + (49,85 – 60)	– 1	= 10,25 mca	ΔP = 0,7 x 150 = 1 m

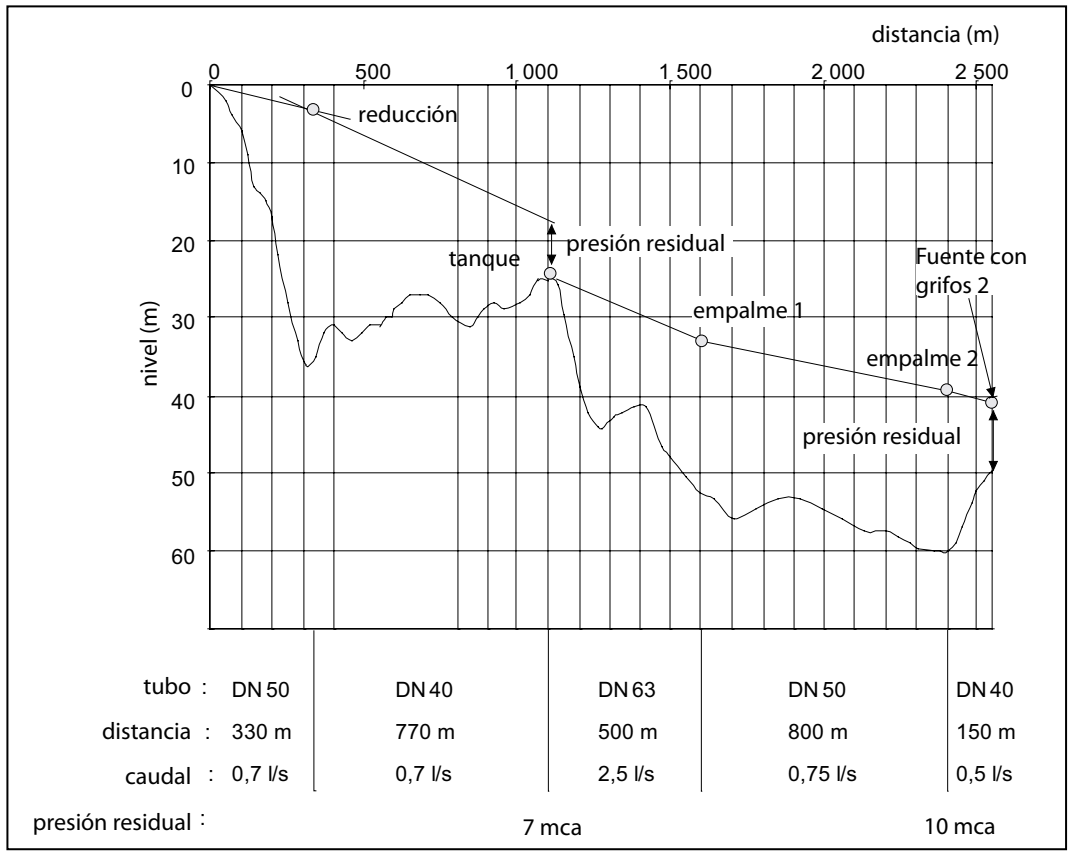


Figura 18.16: Perfil de presiones de la línea de suministro a la fuente nº 2 de la red de Aloua.

2.3.3.5 PLANO DE LAS VÁLVULAS DE LA RED

Se deben instalar un cierto número de válvulas en la red. Tienen funciones variadas y han de representarse en el plano de detalle.

2.3.3.6 VÁLVULAS DE REGULACIÓN

Para estar seguros de una operación correcta de la red, es absolutamente necesario que se puedan mantener los caudales considerados en el diseño. Por esta razón se instalan válvulas de regulación a la entrada de cada fuente de grifos y de cada depósito o tanque.

2.3.3.7 VÁLVULAS DE SECCIONAMIENTO

Las válvulas de seccionamiento (como las válvulas de bola) se instalan en cada derivación importante para poder aislar diferentes ramales de la red. Esto puede ser necesario en caso de fugas, o para el mantenimiento rutinario. Del mismo modo, se instalan válvulas de drenaje en toda clase de depósitos y tanques de rotura de presión (Figura 18.17).

Estas válvulas pueden estar "normalmente abiertas" (NA) o "normalmente cerradas" (NC), dependiendo de su función: una válvula de seccionamiento es NA, mientras que una válvula de drenaje es NC. Normalmente se sitúan en cajas de válvulas para estar bien protegidas y tener un acceso fácil.

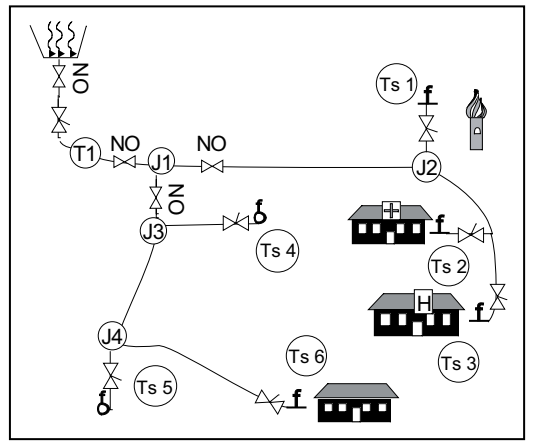


Figura 18.17:
Plano de válvulas mínimo para la red de Aloua (no hay drenajes ni purga de aire).

3 CONSTRUCCIÓN DE LA RED

La construcción de una red de distribución por gravedad requiere llevar a cabo una serie de actividades y la instalación de tuberías. Las recomendaciones indicadas en esta sección se basan en la experiencia de ACF en varios proyectos de África y Asia. En el Anexo 14 se dan detalles sobre la construcción y el diseño de ingeniería civil.

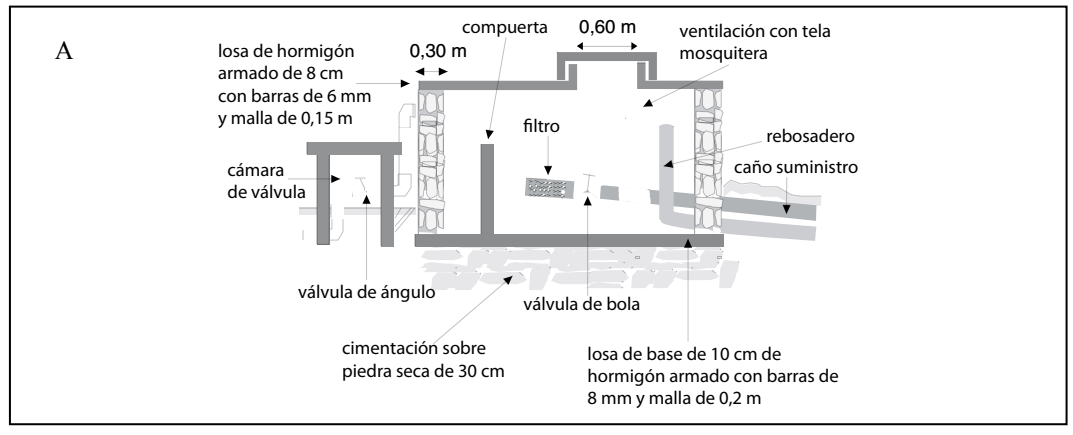


Figura 18.18: Tanque de rotura de presión de mampostería. A: sección; B: planta.

3.1 Tanques de cabecera y tanques de rotura de presión

Los tanques (depósitos) están dotados siempre de:
- una entrada de agua con una válvula de control (tipo de pistón);
- una salida de agua con válvula de seccionamiento (de bola) y una ventilación;
- un desagüe;
- un rebosadero;
- un agujero (trampilla) de inspección.

La construcción puede hacerse de mampostería o de hormigón armado (Figuras 18.18 y 18.19), el volumen es de 2 a 3 m^3, y de forma rectangular o cilíndrica (usando anillos prefabricados).

Se recomienda la instalación de una pantalla deflectora (antepecho) en los tanques de rotura de presión para dispersar la presión dinámica y facilitar una buena aireación de la superficie del agua. Además, la altura del agua sobre la pantalla deflectora proporciona una idea del caudal de entrada (ver Capítulo IX).

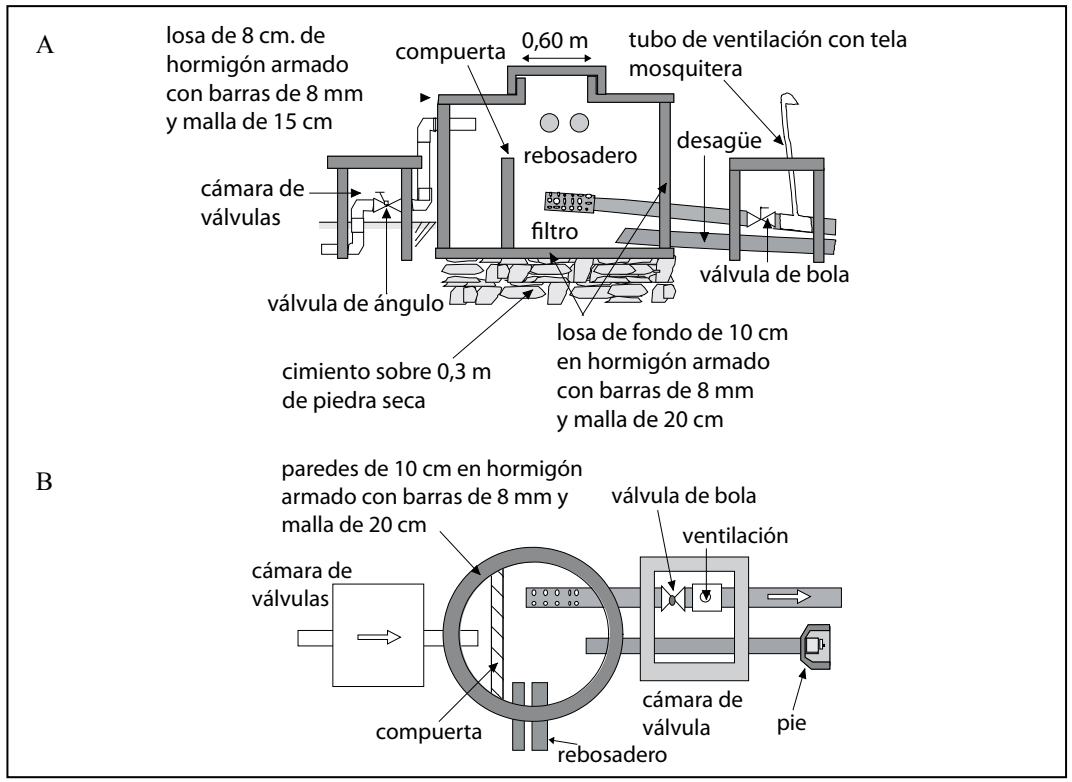


Figura 18.19: Tanque de rotura de presión de hormigón armado. A: sección; B: planta.

3.2 Tanque de almacenamiento

Un tanque de almacenamiento requiere de (Figura 18.20):
- una entrada de agua con válvula de regulación;
- una salida de agua con válvula de bola y ventilación;
- un desagüe;
- un rebosadero;
- un agujero (trampilla) de inspección.

La construcción de tanques en hormigón armado y mampostería se describe en el Anexo 14.

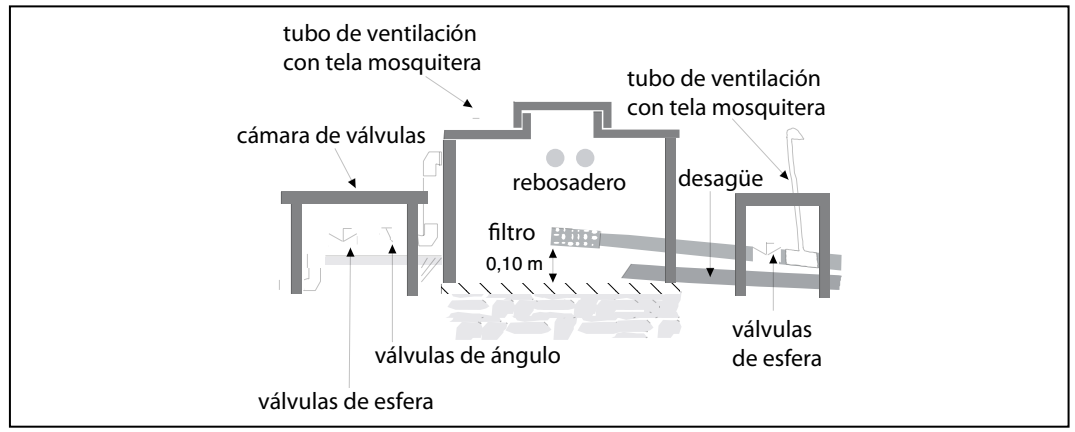


Figura 18.20: Tanque de almacenamiento.

3.3 Conducciones

3.3.1 TUBOS Y ACCESORIOS

3.3.1.1 DIÁMETROS EQUIVALENTES

Los diámetros equivalentes de un tubo vienen dados por las denominaciones DN según la normativa ISO. Los diámetros nominales DN de los tubos galvanizados se refieren al diámetro interno DI, mientras que los de los tubos de plástico rígido (PVC y PE) se refieren al diámetro exterior DE (Tabla 18.VIII).

Tabla 18.VIII: Diámetros equivalentes de los tubos.

Tubos de PVC/PE		Tubos galvanizados AG	
DE (mm)	diámetro equivalente DE en pulgadas	DI (pulgadas)	diámetro equivalente DI/DE en mm
16		3/8"	12/17
20	¾"	½"	15/21
25	1"	¾"	20/27
32	1"1/4	1"	26/34
40	1"1/2	1"1/4	33/42
50	2"	1"1/2	40/49
63	2"1/2	2"	50/60
75	3"	2"1/2	66/76
90	3"1/2	3"	80/90
110	4"1/2	4"	102/114

3.3.1.2 RESISTENCIA A LA PRESIÓN. CLASES

La presión nominal (PN) se expresa generalmente en bares (PN 6, PN 10, PN 12.5, etc.) Algunos países como Kenia y la India, tienen sus propios estándares de resistencia a la presión, ver Tabla 18.IX.

La presión de servicio es distinta de la presión nominal bajo ciertas circunstancias (alta temperatura del agua, agua corrosiva, etc.). En la mayoría de las intervenciones solo se usa la presión nominal.

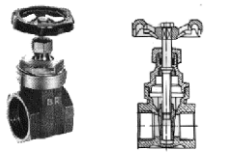
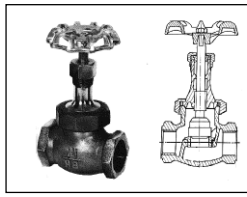
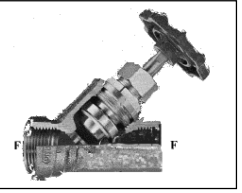
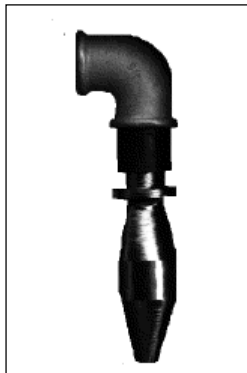
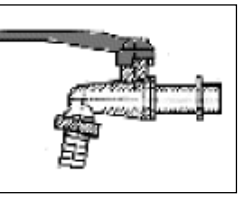
Tabla18.IX: Equivalentes de la presión nominal (PN).

Tubo de PE PN (bares)	Clase equivalente	Tubo de PVC PN (bares)	Clase equivalente	PN (bares)
PN 6	Clase B o III	PN 6	Clase B o III	PN 16
PN 10	Clase C o IV	PN 10	Clase C o IV	PN 25
PN 12.5	Clase D	PN 16	Clase E	

3.3.1.3 VÁLVULAS Y GRIFOS

En la Tabla 18.X se muestran varios modelos de válvulas y grifos.

Tabla 18.X: Modelos de válvulas y grifos.

Modelo	Denominación y uso	Modelo
	*Válvula de compuerta abierto/cerrado* Es posible algún control del caudad pero es preferible que se use sólo para abrir o cerrar. *Válvula de asiento* Para control de caudal. Puede abrir y cerrar, pero se prefieren las de compuerta o esfera.	
	*Válvula de ángulo ajustable* Regulación de caudal con ajustre de abertura máximo. Posibilidad de todo o nada pero se prefieren otras. *Válvula de bola o esfera* Para abrir o cerrar, no controlan.	
	Grifo Talbot de cierre automático (sin ajuste) Para uso en puntos de agua públicos. *Válvula de flotador* Apertura/cierre automático según el nivel de líquido en tanque o depósito. Control de nivel.	
	*Grifo de bola* Usado cuando no se dispone de grifo Talbot. Con racor para conectar manguera.	

3.3.1.4 TUBOS Y ACCESORIOS GALVANIZADOS (AG)

Los tubos galvanizados están disponibles en longitudes de 6 m. Sus propiedades y los accesorios disponibles se muestran en las Tablas 18.XI y 18.XII.

Tabla 18.XI: Relación entre diámetro interno y peso por metro de los tubos galvanizados.

Diámetro (pulgadas)	¾"	1"	1"1/2	2"	2"1/2	3"
Peso (kg) por m	1,6	2,4	3,6	5	6,5	8,4

Los tubos galvanizados se unen usando empalmes roscados, también galvanizados. Cada tubo termina en dos roscas y se suelen entregar con un empalme. Para hacer un buen cierre con la rosca, se suele usar cinta de teflón para diámetros pequeños y cáñamo con masilla de sellado para diámetros superiores a 1"½. Se necesitan herramientas especiales para trabajar con estos tubos:

– machos y terrajas para las roscas de los tubos (herramientas de corte para las terrajas desde ½" a 2"½ y tres juegos de machos);

– cortatubos;

– tornos de banco.

Tabla 18.XII: Accesorios para tubos galvanizados (AG).

Modelo	Nombre y uso	Nombre y uso	Modelo
	Empalme unión de dos tubos	*Empalme macho* unir dos accesorios hembra	
	Unión empalmar dos tubos con posibilidad de desmontar	*Codo de 90°* unir dos tubos en ángulo recto	
	Codo de 45° unir dos tubos en ángulo de 45°	*T de 90°* une tres tubos del mismo calibre	
	Reducción reduccion – hembra hembra	*Reducción* reducción macho-macho	
	Reducción reducción macho-hembra	*Tapón* tapón macho de tubo	
	Tapa tapón hembra de *tubo*		

3.3.1.5 TUBOS Y ACCESORIOS DE PVC

Los tubos y accesorios de PVC se encuentran en longitudes de 6 m., en haces de varias unidades (Figura 18.21). Hay varias formas unir tubos de PVC (Tabla 18.XIV):

– empalme de caucho (Figura 18.22A), usado generalmente para los diámetros más grandes (Tabla 18.XV). Se recomienda usar agua jabonosa para conectar los tubos con el fin de asegurarse que los extremos encajan totalmente;

– empalmes encolados (Figura 18.22B), usados generalmente en diámetros pequeños, Tabla 18.XIII);

– empalmes con un accesorio (usando trozos de tubos – Figura 18.22C).

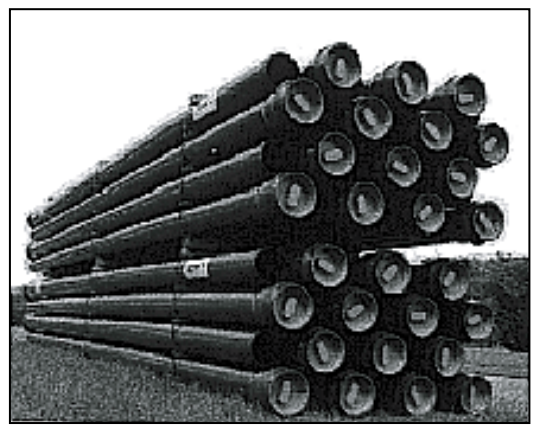


Figura 18.21: Tubos de PVC con empalmes encolados.

Tabla 18.XIII: Tubos de PVC con juntas encoladas, PN 10.

Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Peso (kg) por m
32	29.2	0,3
40	36,4	0,5
50	45,2	0,8
63	57	1,2
75	69	1,6
90	84	1,8

Tabla 18.XIV: Accesorios para tubos de PVC.

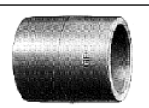
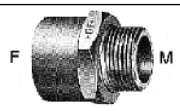
Modelo	Nombre y uso	Modelo
	*Empalme* Conexión de dos tubos	
		Unión Conexión desmontable de tubos
	Codo de 90º Conexión de tubos en ángulo recto	
		Codo de 45º Conexión de tubos en ángulo de 45º
	Te de 90º Conexión de tres tubos del mismo calibre	
		Reducción Conexión de dos tubos de distinto calibre
	*Adaptador macho* Unión PVC-AG, PVC-válvula, etc.	
		Adaptador hembra Conexión PVC-AG, PVC-tapones, etc.
	Conexión para racores Conectar tubos flexibles	
		Tapón

Tabla 18.XV: Tubos de PVC con empalmes de caucho.

Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)
63	57
75	69
90	83
110	101,4
125	116,2
140	130,2

3.3.1.6 TUBOS Y ACCESORIOS DE POLIETILENO

Los tubos de polietileno suelen encontrarse en rollos de 50 ó 100 m (Figura 18.23), y suelen ser de varios tipos: alta, media y baja densidad (Tabla 18.XVI). El de alta densidad es el que se usa generalmente para el agua potable. Sin embargo, es el más rígido, y el de media densidad puede usarse para las conexiones a las fuentes de grifos o a los depósitos.

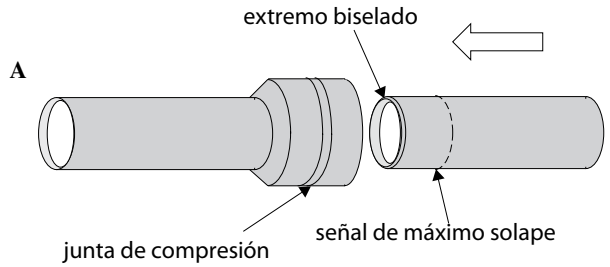


Figura 18.22:
Empalmes de tubos de PVC.
A: empalme de caucho;
B: empalme encolado;
C: empalme encamisado.

Figura 18.23:
Tubos de polietileno (PE).

Tabla 18.XVI: Características de los tubos de PE de alta y baja densidad.

Diámetro externo (mm)	Diámetro interno (mm)	Peso (kg) por metro
Alta densidad, PN 10		
32	26	0,3
40	32,6	0,45
50	40,8	0,7
63	51,4	1,0
75	61,4	1,5
90	73,6	2,2
Baja densidad, PN 10		
25	16,6	0,3
32	21,2	0,45
40	26,6	0,7
50	33,4	1,0
63	42	1,7

Para unir tubos de PE se usan empalmes por compresión para diámetros de hasta 2½" (Tabla 18.XVII y Figura 18.24). Para diámetros mayores es preferible usar soldadura por calor.

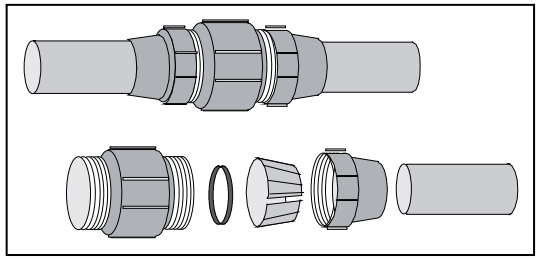
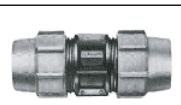
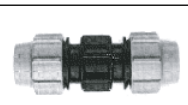
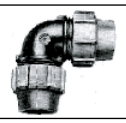
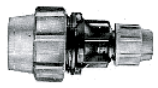
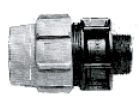
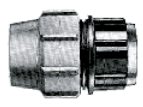


Figura 18.24: Empalme por compresión de tubos de PE.

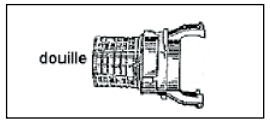
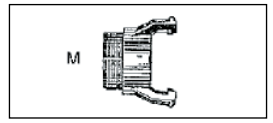
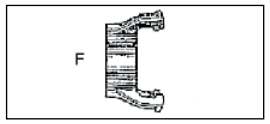
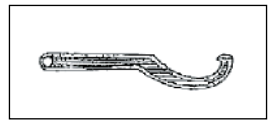
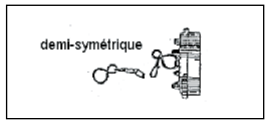
Tabla 18.XVII: Accesorios para tubos de PE.

Modelo	Nombre y uso	Modelo
	*Empalme* Conexión de dos tubos	
	Unión Conexión desmontable de dos tubos	
	*Codo de 90º* Conexión de tubos en ángulo recto	
	Codo de 45º Conexión de tubos en ángulo de 45º	
	Te de 90º Conexión de tres tubos del mismo calibre	
	Reducción Conexión de dos tubos de distinto calibre	
	*Adaptador macho* Unión PVC-AG, PVC-válvula, etc.	
	Adaptador hembra Conexión PVC-AG, PVC-tapones, etc.	
	Tapón	

3.3.1.7 CONEXIONES RÁPIDAS

Estos accesorios (Tabla 18.XVIII) se usan principalmente en sistemas de emergencia, para conexiones con camiones cisternas, rampas de grifos, etc.

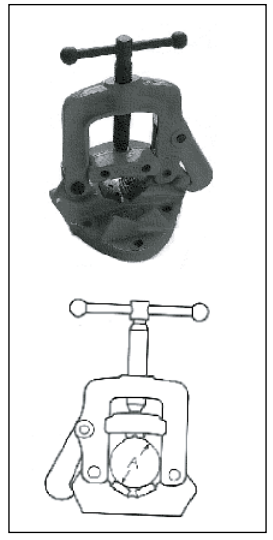
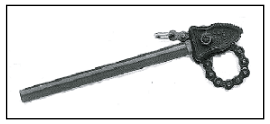
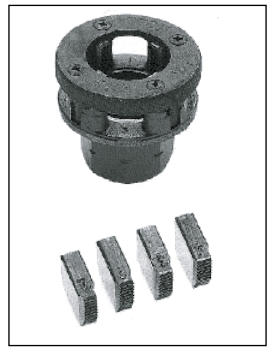
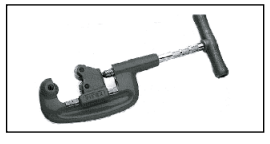
Tabla 18.XVIII: Componentes de las conexiones rápidas.

Modelo	Nombre y uso	Modelo
	Conexión rápida de manguera con cierre de seguridad	
	Conexión rápida a accesorio con rosca hembra	
	Conexión rápida a tubos galvanizados o accesorios con rosca macho	
	Llave para apretar uniones con conexiones rápidas	
	Tapón de protección con cierre de seguridad	

3.3.1.8 HERRAMIENTAS ESTÁNDAR

Se indican en la Tabla 18.XIX.

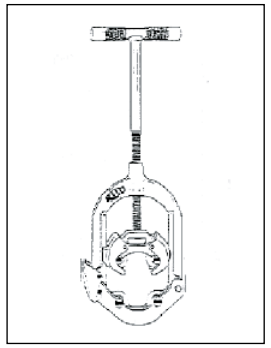
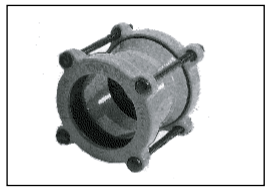
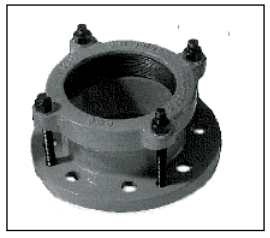
Tabla 18.XIX: Herramientas estándar para tubos galvanizados (AG).

Modelo	Nombre y uso	Modelo
	Llave de tubo Stillson muy resistente	
	Tornillos sujeta-tubos	
	Llave de tubo de cadena sujeta-tubos	
	Terraja manual con mango	
	Alojamiento y corta-roscas para terrajas	
	Corta-tubos	
	Rueda para corta-tubos	

3.3.1.9 *ACCESORIOS PARA LA REPARACIÓN Y CONEXIÓN DE TUBOS DE HIERRO*

Los accesorios se indican en la Tabla 18.XX.

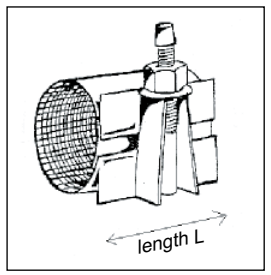
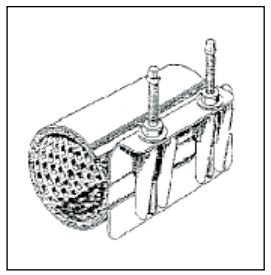
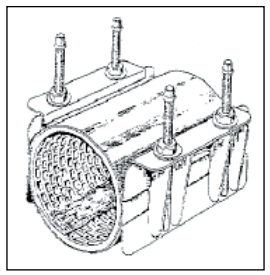
Tabla 18.XX: Accesorios para reparación y conexión de tubos de hierro.

Modelo	Nombre y uso	Modelo
	*Corta-tubos* Este tipo de corta-tubos se puede utilizar en tubos de AG. Hay también modelos de 2 ruedas más económicos que son muy indicados para trabajos sobre el terreno. Para los tubos de PVC y PE bastan las sierras para metal. Existe un modelo de 4 ruedas para trabajar en espacios reducidos, p.ej. en zanjas.	
	*Mordazas de reparación* Uniones de alta tolerancia (juntas para bridas locas) para conectar tubos de igual diámetro, de cualquier material o grosor. *Adaptador* El mismo tipo para adaptar a una brida con junta.	

3.3.1.10 *EQUIPO PARA REPARACIONES DE TUBOS*

Este equipo se muestra en la Tabla 18.XXI.

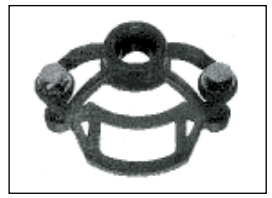
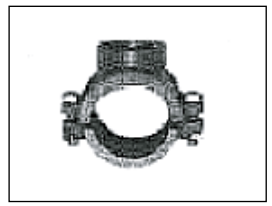
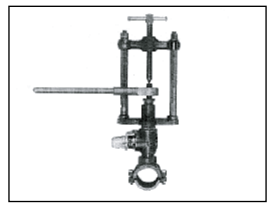
Tabla 18.XXI: Equipo para reparación de tubos.

Modelo	Nombre y uso	Modelo
	*Abrazadera de reparación* Modelo sencillo para reparación de todo tipo de tubos: uralita, AG, PVC. Longitud 100 mm.	
	*Abrazadera de reparación* Modelo idéntico al anterior con longitudes de 200 y 250 mm. *Abrazadera de reparación* Modelo doble de 200 a 300 mm; 400 mm para tubos de 200 a 400 mm de diámetro; 500 mm para tubos de 350 a 500 mm de diámetro.	

3.3.1.11 *EQUIPO PARA TUBOS QUE OPERAN A PRESIÓN*

Este equipo (Tabla 18.XXII y Figura 18.25) permite insertar derivaciones en una tubería a presión sin interrumpir la distribución. Se usa corrientemente para conectar pedestales de fuentes nuevas o ramales particulares.

Tabla 18.XXII: Equipo para tubos a presión.

Modelo	Nombre y uso	Modelo
	*Abrazadera para insertar derivaciones* Para todo tipo de tubos (PE, PVC, AG, uralita, cemento). Se entrega con la unión. *Válvula para atornillar* Rosca de salida macho o hembra, para gas.	
	*Abrazadera para insertar derivaciones* Para PVC, PE, hierro dúctil, AG, uralita y cemento. *Taladro* Equipo para perforar agujeros en tubos y colocar una abrazadera con válvula.	

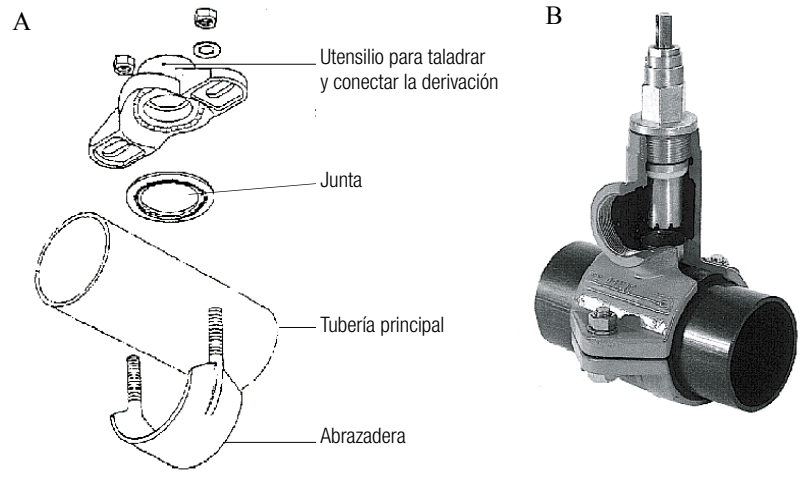


Figura 18.25: Abrazadera para insertar derivaciones.
A: detalles; B: con válvula de corte integrada.

3.3.2 INSTALACIÓN DE LOS TUBOS

3.3.2.1 *ZANJA*

– Profundidad mínima: 0,8 m (anchura = anchura de la herramienta para cavar).
– Retirar las piedras y raíces que puedan dañar el tubo.
– Cavar la zanja justo antes de colocar el tubo para minimizar el peligro de derrumbe o erosión por inundación en caso de lluvia. Si no fuera posible, consolidar el terreno en el interior de la zanja como sea necesario según la pendiente.

3.3.2.2 *TENDIDO DEL TUBO EN LA ZANJA*

– Si el fondo de la zanja no es plano, o si la tierra puede deformar el tubo (p.ej. roca descompuesta), se implementa un fondo de arena, o tierra tamizada si no hay arena.

– Colocar los tubos, empalmándolos cuidadosamente (tener en cuenta los problemas de dilatación, especialmente cuando se usan largas tuberías de polietileno en climas cálidos).

3.3.2.3 *RELLENADO*

– Usar la tierra extraída al cavar la zanja para rellenarla (eliminando todo lo que pueda dañar el tubo).

– Tras la colocación del tubo, se rellena hasta unos 30 cm y se compacta correctamente. Si fuera posible, presurizar la red y verificar la estanqueidad (Figura 18.26A).

– Terminar de rellenar y compactar (Figura 18.26B).

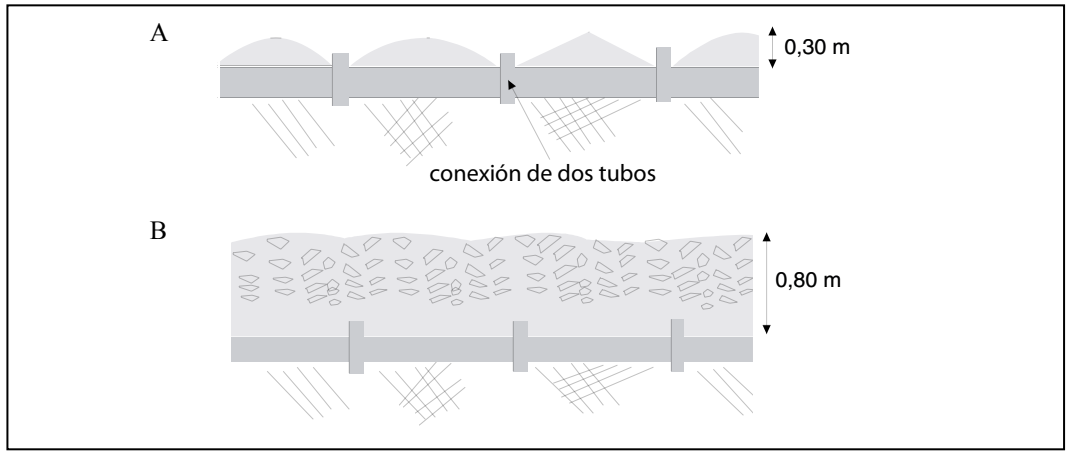


Figura 18.26: Rellenado de la zanja con el tubo.
A: relleno inicial para comprobar la estanqueidad (presurización de la red).
B: relleno final tras la prueba de estanqueidad.

3.3.2.4 *TUBOS AL AIRE, SOBRE EL SUELO*

Cuando no sea posible enterrar el tubo más de 30 cm se puede recurrir a otras soluciones (Figura 18.27A):

– usar tubos galvanizados AG;

– poner una camisa protectora alrededor del tubo;

– proteger el tubo de plástico con un recubrimiento de hormigón (10 cm) o mampostería a lo largo de todo el tramo descubierto (sobre el suelo) si es necesario.

–

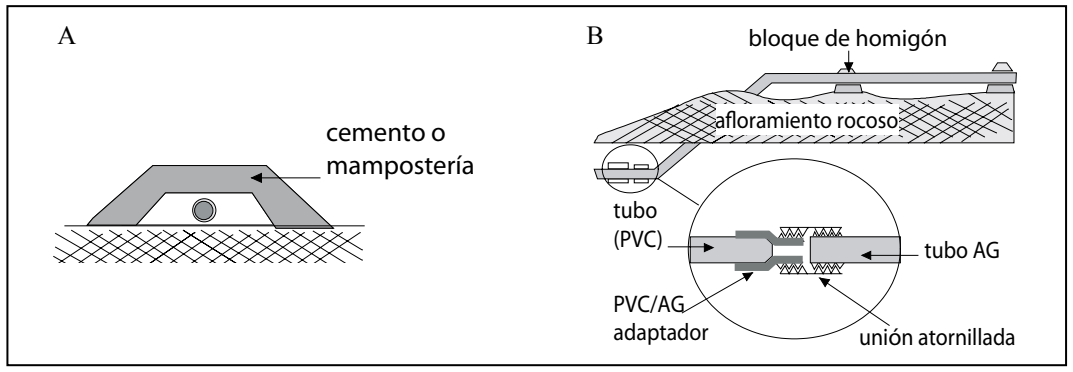


Figura 18.27: Paso sobre el suelo. A: protección de mampostería. B: uso de tubo de hierro.

En los cruces de barrancos, ríos, etc.:

– si el vano es inferior a 5 m, se recomienda el uso de tubo galvanizado AG, estos tubos pueden soportar su propio peso en longitudes de hasta 5 m. Si los tubos son de plástico, se puede colocar un tubo galvanizado de camisa (hay que anclar los extremos del tubo galvanizado sobre bloques de hormigón, Figura 18.28 A);

– Si el vano es superior a 5 m es importante suspender el tubo de un cable.

Tabla 18.XXIII: Diámetro de tubo y vano máximo con cable de 8 mm de diámetro.

Diámetro de tubo	1”	2”	3”
Vano máximo	170 m	70 m	40 m

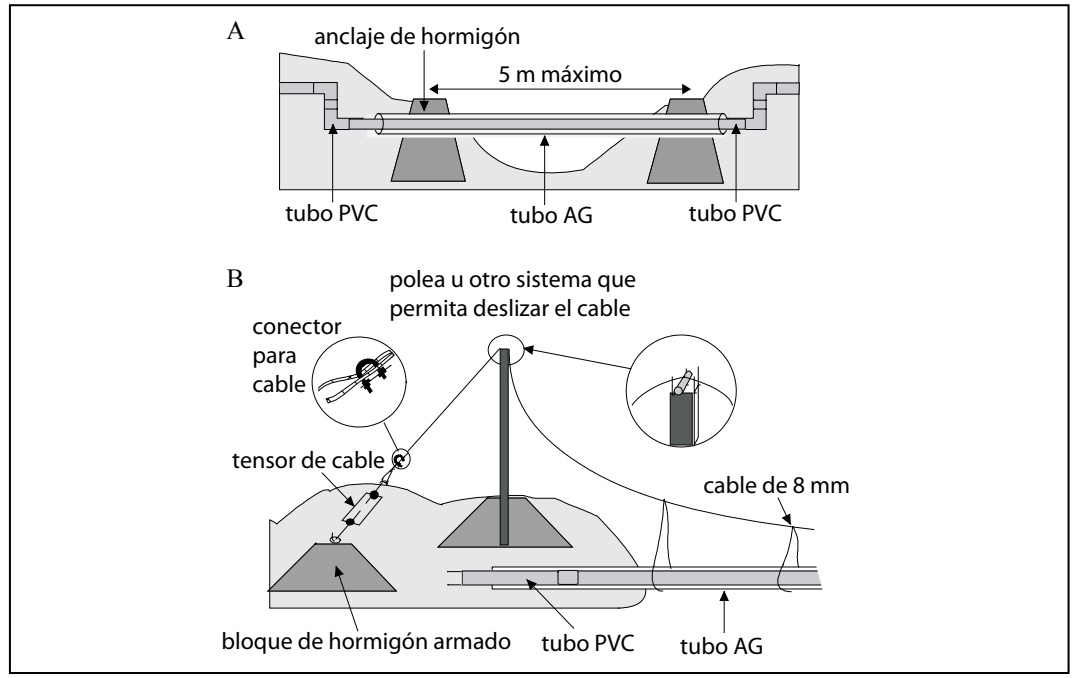


Figura 18.28: Cruce de barrancos y ríos.
A: usando una camisa de AG. B: tubo suspendido.

Se debe prestar atención especial a los siguientes detalles:

– el cable se debe anclar adecuadamente;

– los tubos de plástico deben ir dentro de los de hierro o AG;

– los tubos se deben suspender unos 70 cm por debajo del cable.

El diámetro del cable se selecciona según la longitud del vano y el diámetro del tubo (Tabla 18.XXIII y Figura 18.28B).

3.3.2.5 *CRUCE DEBAJO DE UNA CARRETERA*

– Hay que enterrar el tubo 1 m al menos.

– Usar tubo galvanizado AG, una camisa de AG, o un conducto de cemento.

El diámetro de las camisas se escoge según el diámetro de los tubos (Tabla 18.XXIV).

Tabla 18.XXIV: Diámetros correspondientes de tubo y camisa.

Tubo de plástico	40 mm	50 mm	60 mm	75 mm
Camisa de tubo galvanizado	2”	2½”	3”	4”

3.3.2.6 BLOQUES DE RETENCIÓN

Los bloques de retención (Figura 18.29) son imprescindibles para soportar el empuje del agua en codos, tes y válvulas.

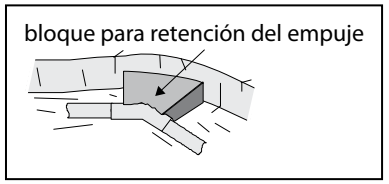


Figura 18.29: Bloques de retención.

3.3.2.7 ANCLAJES

En los tramos con pendientes acusadas (o donde el terreno sea inestable), el tubo debe anclarse (Figura 18.30) para evitar que se mueva al llenarse de agua. Es importante usar tantos anclajes como sean necesarios.

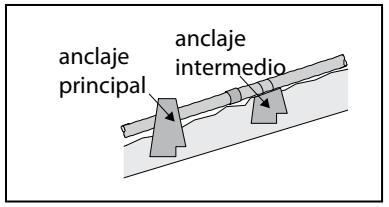


Figura 18.30: Anclajes de tubos.

3.3.2.8 INDICADORES DE POSICIÓN

Se colocan indicadores de posición cada 250 m con una base de cemento o mampostería para indicar la posición de la tubería. Además, estos indicadores se colocan cada vez que se requiera señalizar puntos concretos (entronques de ramales, cambios de dirección, etc.) Los indicadores deben tener marcas indicativas del tipo de tubo (material y diámetro), dirección del flujo y un número de referencia (Figura 18.31).

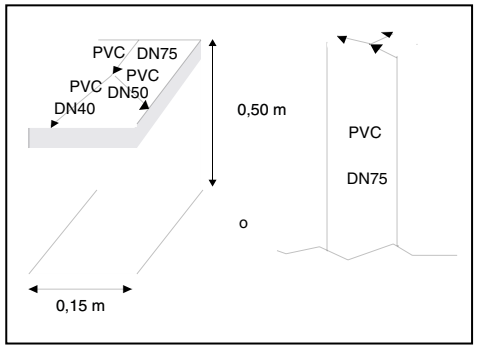


Figura 18.31: Indicadores de posición de la tubería.

3.3.2.9 VÁLVULAS DE DRENAJE

Se instalan válvulas de bola en los puntos bajos de la línea, para poder drenar los tubos y eliminar los sólidos que puedan depositarse (Figura 18.32).

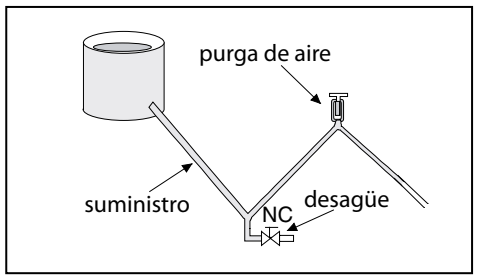


Figura 18.32: Drenaje y purga de aire.

3.3.2.10 PURGA DE AIRE (VENTOSAS)

Se instalan también válvulas de bola en los puntos altos de la línea para purgar el aire acumulado. Estas válvulas se abren cuando se llena de agua la línea y se cierran cuando empieza la operación normal. Luego se abren durante las verificaciones regulares para purgar las burbujas de aire

Las válvulas especiales para purga de aire (ventosas), instaladas en puntos altos permiten la eliminación automática del aire atrapado en el interior de las tuberías y facilitan el mantenimiento.

3.3.2.11 CAJAS DE VÁLVULAS

Las válvulas, tanto las que se hallan a lo largo de la conducción como las de los pedestales de las fuentes o de los tanques, deben estar protegidas dentro de las cajas de válvulas, y deben estar:

- dotadas de una tapa atornillada;
- dotadas de un drenaje para el agua que se pueda filtrar dentro;
- construidas con holgura suficiente para poder desmontar y reemplazar las válvulas.

Todos los mangos de las válvulas deben quitarse y ser conservados solo por la persona responsable del sistema para evitar el uso no autorizado. Las válvulas deben instalarse con uniones para poder desmontarlas sin cortar el tubo.

3.4 Fuentes de grifos

El diseño de las fuentes de grifos debe permitir la distribución fácil e higiénica del agua a los usuarios de la red.

3.4.1 ACCESORIOS

Se asume generalmente que los grifos de ¾" dan un caudal de 0,25 l/s a una presión de 10 m de columna de agua. Los grifos Talbot no alcanzan este caudal, sólo proporcionan de 0,1 a 0,15 l/s a 4 m de columna de agua. Además solo funcionan correctamente a presiones inferiores entre 1 y 8 m de columna de agua. Por encima de 8 m de columna de agua se abren con dificultad. Sin embargo, tienen la ventaja de cerrar automáticamente y ser duros. Se recomienda su uso, pero se han de tener en cuenta sus condiciones de operación.

Todos los pedestales de las fuentes deben dotarse de una válvula de regulación (de asiento) o, incluso mejor, de un regulador de presión (con regulador manual). Este accesorio permite predeterminar la presión de operación asegurando la operación óptima de los grifos. Si se instalan reguladores manuales (cosa que se recomienda insistentemente) el pedestal de la fuente debe tener además una válvula de corte (atajadera) o de otro tipo que generalmente permanece abierta.

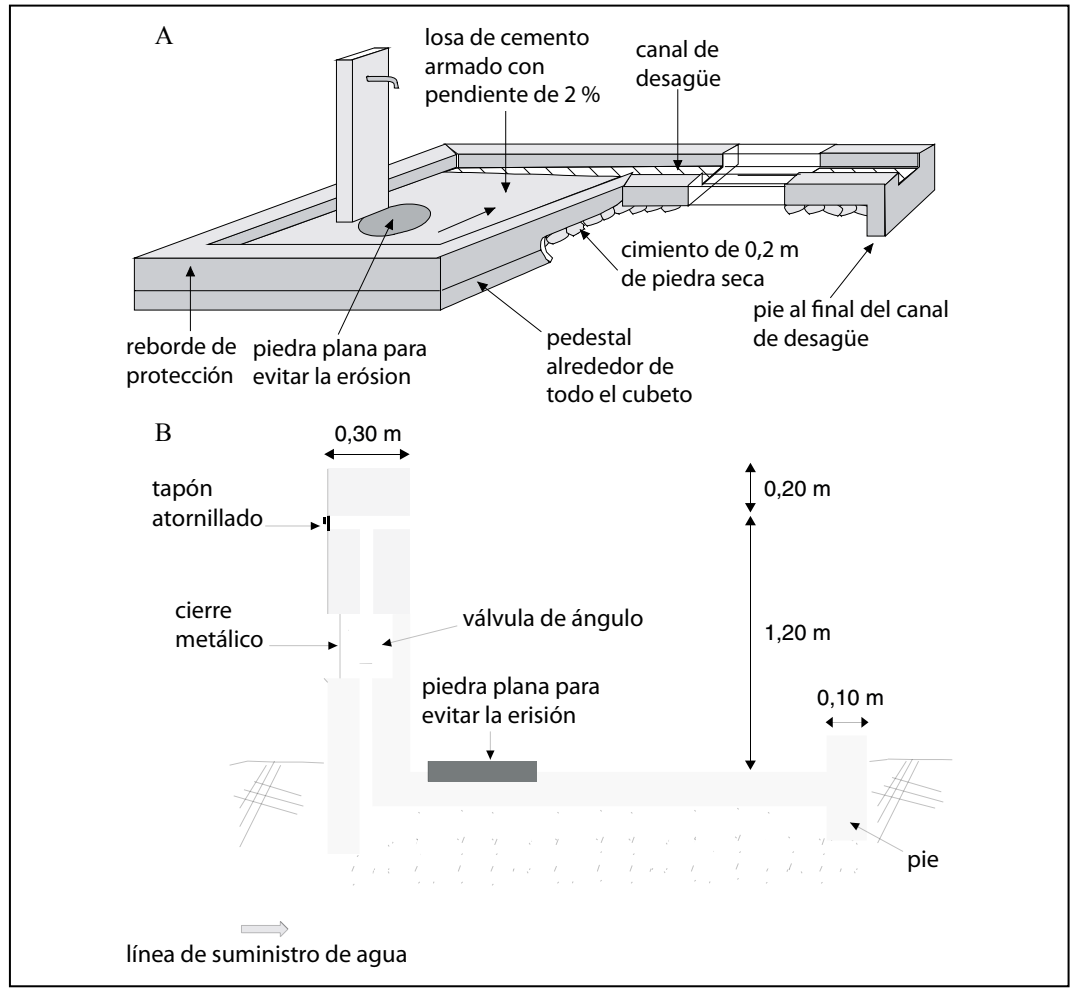


Figura 18.33: Pedestal de fuente con un caño. A: vista general. B: sección.

3.4.2 CONSTRUCCIÓN

Las Figuras 18.33 y 18.34 muestran dos tipos de pedestales para las fuentes de grifos construidos de hormigón armado o de mampostería, con 1 ó 4 grifos: los detalles de la estructura se dan en el Anexo 14. Hay muchos diseños posibles y deben adaptarse al contexto cultural. Como la fuente es un lugar de reunión, se convierte en un sitio para el encuentro social por lo que merece atención especial tanto su diseño como su estructura. Los usuarios deben participar en su desarrollo, por ser la mejor garantía de convertirse en el lugar preferente para obtener el agua (forma de los recipientes, altura de los grifos, hábitos de lavado, etc.) Un ejemplo de pedestal de fuente desarrollado en colaboración con una comunidad local de Etiopía se da en el Capítulo XVII.

Desde el punto de vista técnico, tiene importancia tener en cuenta:

– colocar una piedra plana bajo del chorro de agua, para evitar la erosión de la losa de cemento;

– dotar a la losa de una pendiente eficaz hacia el canal de desagüe (aprox. 2%);

– construir el canal de desagüe como parte integral de la losa, tan largo como sea posible y terminado con un pie;

– si fuera necesario, colocar algún impedimento para evitar que se acerquen los animales a la fuente;

– asegurarse de que se crea un pie con la losa por lo menos 10 cm sobre el suelo para que el agua superficial no entre en el canal de desagüe.

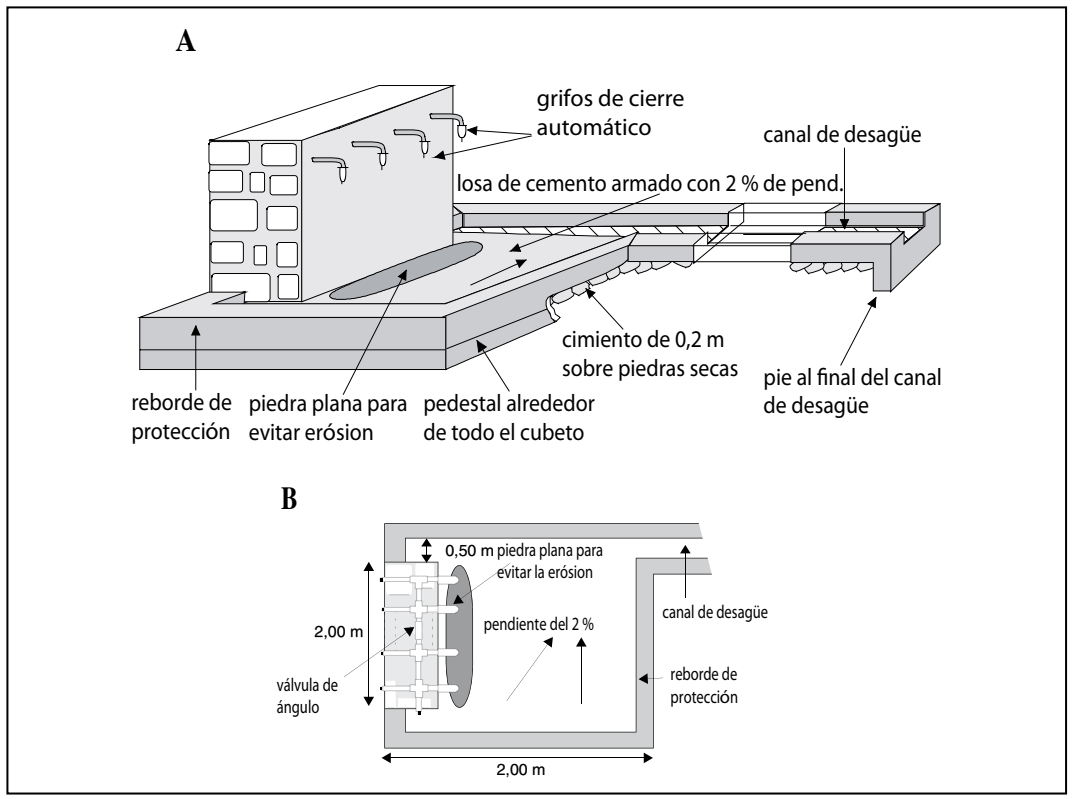


Figura 18.34: Pedestal de fuente de mampostería con 4 caños. A: vista general. B: planta.

4 DISTRIBUCION DE AGUA DE MANANTIALES POR GRAVEDAD

Los proyectos se han de planificar y poner en práctica en colaboración con la comunidad y sus dirigentes. Es importante tener en cuenta las características especiales de cada comunidad y planificar el desarrollo del proyecto con la población local.

4.1 Planificación

El tiempo requerido para la construcción de un sistema de suministro por gravedad depende de numerosos factores (Tabla 18.XXV): participación de la comunidad, longitud y complejidad del sistema, condiciones meteorológicas (importantes si hay que cavar una zanja), etc.

Tabla 18.XXV: Ejemplo del tiempo necesario para las principales obras de construcción de un sistema gravitatorio de distribución.

Captación del manantial	5 semanas – 10 personas
Construcción del tanque de almacenamiento	1 mes – 8 personas
Construcción de la fuente con grifos	1 a 2 semanas – 5 personas
Cavar una zanja (80 cm)	5 m/persona/día
Instalación de tuberías	50 m/persona/día
Relleno de la zanja	8 m/persona/día

La planificación del trabajo para el sistema de Aloua mostrado en las secciones anteriores se recoge en la Tabla 18.XXVI.

4.2 Recursos humanos y financieros

Las tareas especializadas para la construcción de un sistema de distribución gravitatorio son el tendido de tuberías y la ingeniería civil, que pueden subcontratarse o no. Si se asumen todos los trabajos, se usan dos equipos, uno para las tuberías (conexión e instalación) y otro para la ingeniería civil (Tabla 18.XXVII). Los vecinos de la comunidad pueden asumir algunas tareas como:

– limpieza de las zonas por donde discurrirá el trazado de las tuberías y transporte de los materiales a la línea del trazado;

– excavación de zanjas;

– gestión de las aguas residuales de las fuentes de grifos y construcción de las vallas alrededor del manantial y de las fuentes de grifos.

Tabla 18.XXVI: Calendario para la realización del sistema en Aloua.

Mes	Actividades
1	Prospección de campo (recursos, demanda), contactos con la comunidad. Plano de la aldea. Topografía. Cálculos de diseño.
2	Compra de materiales y equipos (tubos, cemento, moldes). Reclutamiento de los trabajadores. Planificación del programa de participación comunitario.
3	Captación del manantial. Construcción de estructuras de cemento (fuente / tanques de sedimentación, cajones rompe-presiones, etc.). Puesta en práctica del programa de participación comunitaria.
4	Construcción del tanque de almacenamiento. Continuación del programa de participación comunitaria.
5	Construcción de 3 fuentes de grifos. Continuación del programa de participación comunitaria.
6	Construcción de 4 fuentes de grifos. Comienzo de la zanja, colocación de las tuberías, relleno parcial. Continuación del programa de participación comunitaria.
7	Final de la construcción de las fuentes de grifos. Final de la instalación de tuberías, relleno de la zanja. Continuación del programa de participación comunitaria.
8	Llenado de los tubos con agua. Reparación de fugas. Finalización de la obra (vallado alrededor de las fuentes de grifos, etc.) Evaluación, propuestas nuevas.

Tabla 18.XXVII: Personal necesario para la construcción de un sistema de distribución.

Dirección	Funciones
1 especialista en agua	diseño, planificación, dirección de los equipos
1 logistico	suministros al sitio, seguimiento de materiales y vehículos
1 capataz	supervisión equipos de peones de tuberías y albañiles
Equipo de albañiles	
1 capataz	responsable a cargo
2 albañiles	preparación, trabajo con cemento
Equipo de tuberías	
1 capataz	a cargo de la instalación y conexión de las tuberías
2 peones	tendido y conexión de las tuberías
Peones	
según necesidad	zanjas, construcción civil, tuberías

La Tabla 18.XXVIII muestra las estimaciones del coste de los materiales y equipos en 1997.

Tabla 18.XXVIII: Coste medio (€) de materiales y equipos adquiridos en Francia 1997.

Tubos					
AG (6 m)		PVC, PN 10 (por m)		HDPE, PN10 (por m)	
¾"	18,3 €	32 mm	0,5 €	32 mm	1,5 €
1"	25,2 €	40 mm	0,8 €	40 mm	2,3 €
2"	50,3 €	50 mm	1,2 €	50 mm	3,4 €
3"	86,9 €	75 mm	2,4 €	75 mm	7,6 €
		90 mm	3,2 €	90 mm	10,7 €
		110 mm	4,6 €		

Accesorios					
AG		PVC		PE	
2" empalme	7,6 €	2" empalme	2,0 €	2" empalme	13,0 €
2" empalme	4,6 €	2" unión	6,9 €	2" unión	15,2 €
2" unión	14,5 €	90° 2" codo	3,4 €	90° 2" codo	17,5 €
90° 2" codo	5,9 €	90 ° 2" Te	4,0 €	90 ° 2" Te	19 €
90° 2" Te	8,8 €	2-1" reducción	2,1 €	2-1" reducción	13 €
2-1"reducción	6,4 €				

Varios	
Herramienta para perforación de tubos 50	15,2 €
Abrazadera de reparación (100 m)	7,6 €
Abrazadera de reparación (200 m)	61 €
Conexión de alta tolerancia DN 40 a 300	25,9 a 99,1 €

Equipo	*Cantidad*	*Precio*
Bomba Diesel y accesorios	1	1 829,3 €
Equipo de estudio rápido de campo	1	609,8 €
Equipo de dosificación proporcional (1 a 20 m^3/h)	1	1 524,4 €

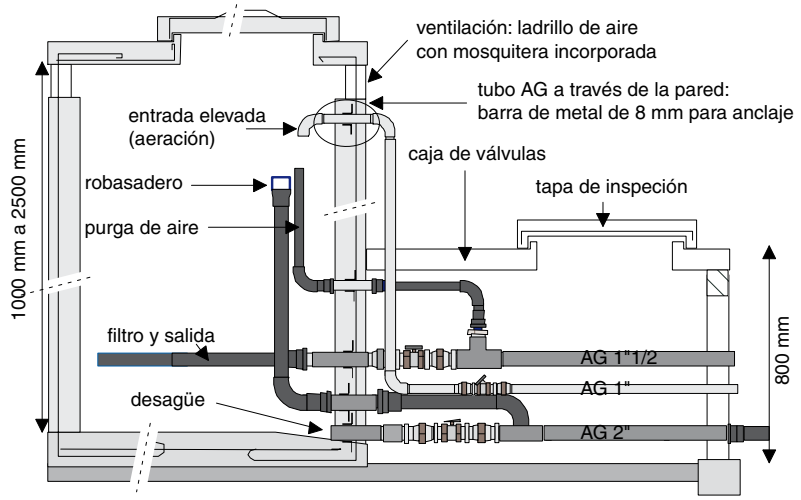
Equipos de análisis		
Análisis bacteriológico y consumibles	1	2 134,4 €
Análisis de aluminio	1	101,2 €
Herramientas y equipos menores	1	762,2 €
Sulfato de aluminio (50 kg)	10	762,2 €
HTH (kg)	10	152,4 €

4.3 Ejemplo del sistema de Ban Houn

El ejemplo siguiente muestra el sistema de distribución gravitatorio desde la captación de un manantial en Laos, para la aldea de Ban Houn (ACF, 1998). Las Figuras 18.35 y 18.36 muestran planos de los tanques construidos para el sistema (Cuadro 18.2).

Cuando las aldeas son inaccesibles, especialmente para el transporte de materiales como el cemento y la ferralla, siempre es posible usar tanques de polietileno prefabricados. Se pueden enterrar y proteger con una valla sobre el terreno (Figura 18.37).

A



B

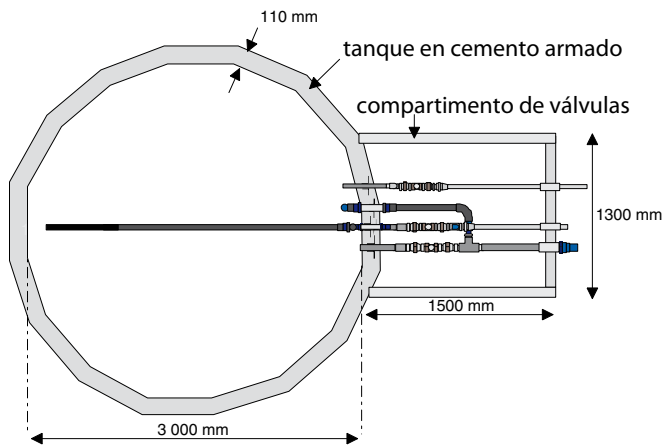
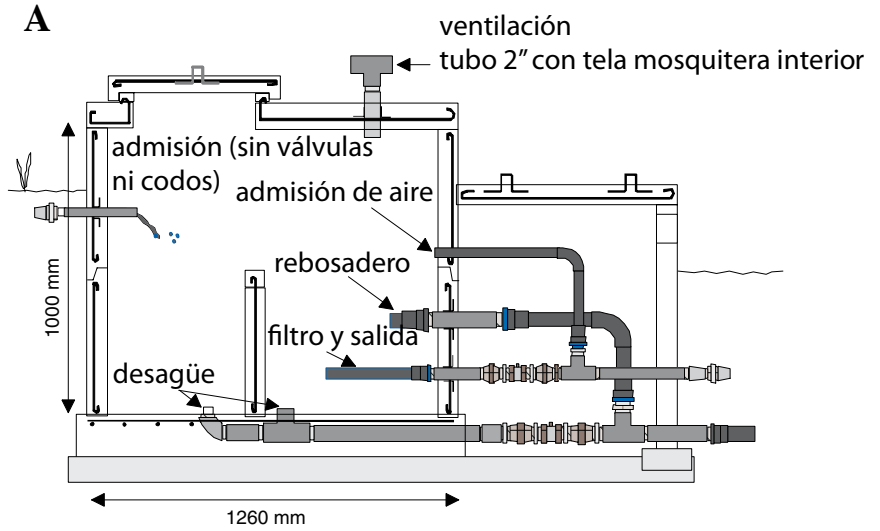


Figura 18.35: Tanque de hormigón armado (ACF Laos, 1998). A: sección; B: planta.

A



B

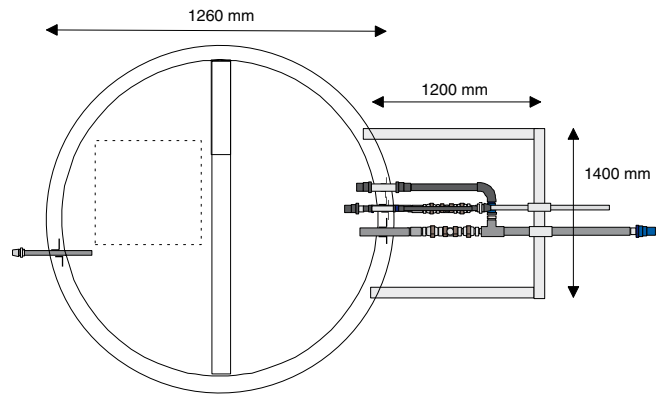
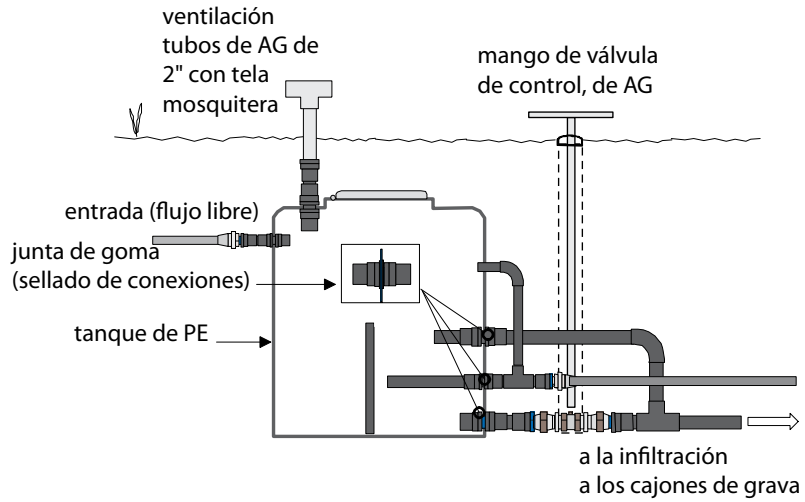


Figura 18.36: Tanque de cabecera. A: sección; B: planta.

A



B

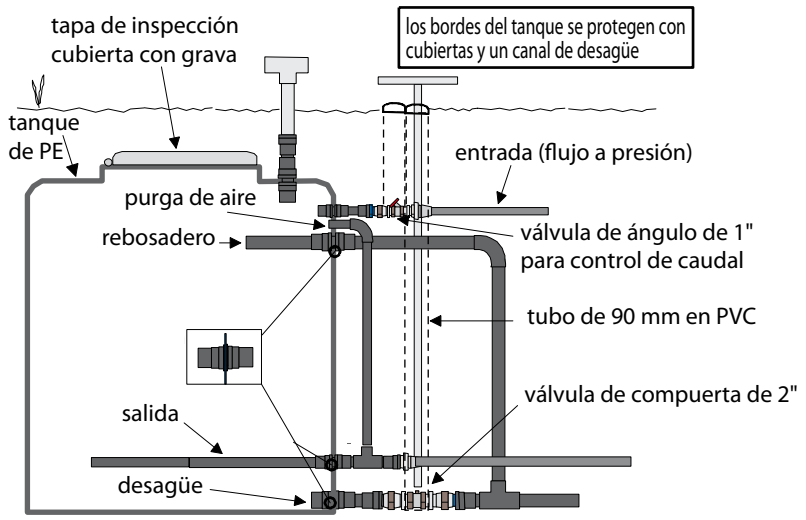


Figura 18.37: Tanque de polietileno. A: rompe-presiones. B: tanque.

Cuadro 18.2
Diseño del sistema de Ban Houn

Lugar: Ban Houn – Fecha: 22/07/98 – Crecimiento demográfico: 3%

Análisis de la situación

	Población actual	Población en 10 años	Demanda l/persona/día	Demanda (m³/día)	Número de grifos
oblación	123	159,9	40	6,396	2
Centro sanitario	0	0	10	0	0
Hospital	0	0	50	0	0
Mercado	0	0	10	0	0
Templo	0	0	10	0	0
Escuela	0	0	0	0	0

Demanda diaria : 6.40 m³/día. Número de grifos : 2 Rendimiento del manantial (estación seca) : 0.075 l/s

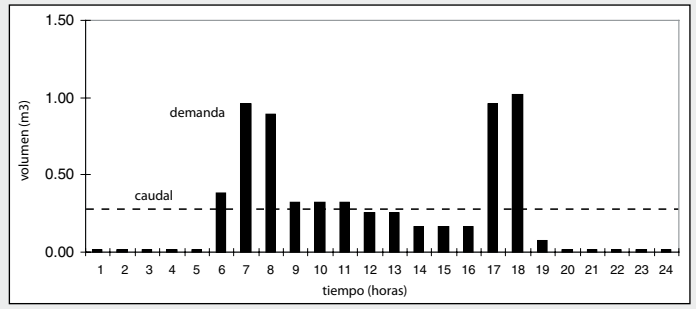


Figura 1: Comparación del consumo horario con el caudal del manantial. Caudal del manantial (l/h) < consumo horario → almacenamiento necesario (tanque)

Volumen del tanque

Caudal del manantial (estación seca) 0,27 m³/h. Demanda total: 6,40 m³/día

Hora del día	Coeficiente de consumo durante el periodo (%)	Demanda durante el periodo (m³)	Volumen de agua producida por el manantial en el periodo (m³)	Diferencia (m³)	Existencias negativas	Existencias positivas	Acumulación de existencias (m³)
1	0,2	0,01	0,27	0,26	0,00	0,26	0,26
2	0,2	0,01	0,27	0,26	0,00	0,26	0,51
3	0,2	0,01	0,27	0,26	0,00	0,26	0,77
4	0,2	0,01	0,27	0,26	0,00	0,26	1,03
5	0,2	0,01	0,27	0,26	0,00	0,26	1,29
6	6,0	0,38	0,27	– 0,11	– 0,11	0,00	1,17
7	15,0	0,96	0,27	– 0,69	– 0,69	0,00	0,48
8	14,0	0,90	0,27	– 0,63	– 0,63	0,00	– 0,14
9	5,0	0,32	0,27	– 0,05	– 0,05	0,00	– 0,19
10	5,0	0,32	0,27	– 0,05	– 0,05	0,00	– 0,24
11	5,0	0,32	0,27	– 0,05	– 0,05	0,00	– 0,29
12	4,0	0,26	0,27	0,01	0,00	0,01	– 0,28
13	4,0	0,26	0,27	0,01	0,00	0,01	– 0,26
14	2,6	0,17	0,27	0,10	0,00	0,10	– 0,16
15	2,6	0,17	0,27	0,10	0,00	0,10	– 0,06
16	2,6	0,17	0,27	0,10	0,00	0,10	0,05
17	15,0	0,96	0,27	– 0,69	– 0,69	0,00	– 0,64
18	16,0	1,02	0,27	– 0,75	– 0,75	0,00	–1,40
19	1,2	0,08	0,27	0,19	0,00	0,19	– 1,20
20	0,2	0,01	0,27	0,26	0,00	0,26	– 0,94
21	0,2	0,01	0,27	0,26	0,00	0,26	– 0,69
22	0,2	0,01	0,27	0,26	0,00	0,26	– 0,43
23	0,2	0,01	0,27	0,26	0,00	0,26	– 0,17
24	0,2	0,01	0,27	0,260	0,00	0,26	0,08
Total	**100,0**	**6,40**	**6,48**	**0,08**	**– 3,02**	**3,10**	

Volumen mínimo[1] del tanque 2,69 m³; Volumen óptimo2 del tanque 2,77 m³; Volumen escogido 3,50 m³

1. El volumen mínimo del tanque (V_{min}) corresponde al almacenamiento positivo máximo menos el déficit máximo, según la fórmula siguiente: V_{min} =1,29 m³ – (–1,40 m³) = 2,69 m³
2. El volumen óptimo del tanque (V) es el volumen mínimo más el volumen total diario saliendo por el tubo de rebosadero, según la formula siguiente: $V = V_{min} + V_{Robasadero}$ = 2,69 m³ + 0,08 = 2,77 m³

Estudio topográfico, nivel Abney

Provincia: Luang Namtha
Distrito: Nale
Lugar: Ban Houn
Fecha: 19/07/98

Estación	Distancia al nivel (m) entre acumulada estaciones		Angulo vertical decimal	Angulo vertical grados	Distancia vertical (m)	Elevación (m)	Comentarios
0		0,0				626,0	captación
1	19,8	19,8	– 6,67	– 6,4	– 2,30	623,7	
2	29,6	49,4	– 6,17	– 6,1	– 3,18	620,5	tanque de cabecera (HT)
3	22,0	71,4	– 8,17	– 8,1	– 3,13	617,4	
4	17,8	89,2	– 7,17	– 7,1	– 2,22	615,2	
5	22,5	111,7	– 7,17	– 7,1	– 2,81	612,4	
6	22,3	134,0	– 7,00	– 7,0	– 2,72	609,7	
7	20,4	154,4	– 0,67	– 0,4	– 0,24	609,4	
8	28,1	182,5	– 3,33	– 3,2	– 1,63	607,8	
9	23,0	205,5	– 2,67	– 2,4	– 1,07	606,7	
10	19,4	224,9	– 1,67	– 1,4	– 0,56	606,1	
11	23,6	248,5	– 3,33	– 3,2	– 1,37	604,8	
12	24,7	273,5	– 13,17	– 13,1	– 5,63	599,1	
13	25,1	298,3	– 19,17	– 19,1	– 8,24	590,9	
14	25,3	323,6	– 19,33	– 19,2	– 8,38	582,5	
15	19,8	343,4	– 20,17	– 20,1	– 6,83	575,1	
16	21,3	364,7	– 18,67	– 18,4	– 6,82	568,9	
17	9,1	373,8	– 15,17	– 15,1	– 2,38	566,5	
18	22.8	396,6	– 8,67	– 8,4	– 3,44	563,1	
19	27,0	423,6	– 18,00	– 18,0	– 8,34	554,7	
20	27,8	454,4	– 19,67	– 19,4	– 9,36	545,4	
21	30,0	481,4	– 10,33	– 10,2	– 5,38	540,0	
22	22,2	503,6	– 8,33	– 8,2	– 3,22	536,8	tanque rotura presión (BPT)
23	22,3	525,9	– 8,00	– 8,0	– 3,10	533,7	
24	20,2	546,1	– 7,33	– 7,2	– 2,58	531,1	
25	25,9	572,0	– 11,17	– 11,1	– 5,02	526,1	
26	22,0	594,0	– 18,33	– 18,2	– 6,92	519,2	
27	29,3	623,3	– 20,83	– 20,5	– 10,42	508,7	
28	28,0	651,3	– 18,67	– 18,4	– 8,96	499,8	
29	17,4	668,7	– 19,50	– 19,3	– 5,81	494,0	
30	17,5	686,2	– 22,67	– 22,4	– 6,74	487,2	
31	24,2	710,4	– 21,67	– 21,4	– 8,93	478,3	
32	20,5	730,9	– 19,83	– 19,5	– 6,96	471,3	
33	21,2	752,1	– 21,17	– 21,1	– 7,65	463,7	
34	30,0	782,1	– 18,33	– 18,2	– 9,44	454,2	
35	30,0	812,1	– 1,17	– 1,1	– 0,61	453,6	
36	8,0	820,1	– 2,67	– 2,4	– 0,37	453,3	tanque de almacenamiento
37	30,0	850,1	– 2,67	– 2,4	– 1,40	451,9	empalme
38	30,0	880,1	– 4,83	– 4,5	– 2,53	449,3	
39	6,7	886,8	– 0,83	– 0,5	– 0,10	449,2	
40	30,0	916,8	– 1,00	1,0	0,52	449,8	
41	11,2	928,0	– 0,50	– 0,3	– 0,10	449,7	fuente de grifos 1 (T1)
42	8,0	68,0	0,00	0,0	– 0,37	453,3	tanque de almacenamiento
43	30,0	98,0	0,00	0,0	– 4,20	449,1	
44	30,0	128,0	0,00	0,0	– 3,10	446,.0	fuente de grifos 2 (T2)

Estación 1	Estación 2	Caudal (l/s)	Tubo longitud (m)	Tubo diám (mm)	Coeficiente rozamiento (%)	Velocidad (m/s)	Pérdida de carga (m)	Altitud estación 1 (h1) (m)	Altitud estación 2 (h2) (m)	Caída (h1 – h2) (m)	Presión estática est. 1 Ph1 (m)	Presión residual est. 2 Ph1+h– P (m)	Comentarios
0	2	0,075	49,4	33/40				626,0	620,5		sin presión		CAPT - HT
2	22	0,075	454,2	26/32	0,15	0,15	0,68	620,5	536,8	83,7	0,0	83,1	HT - BPT
22	36	0,075	316,5	26/32	0,15	0,15	0,47	536,8	453,3		83,50,0	83,04	BPT- STO
36	37	0,5	30,0	33/40	1,3		0,39	453,3	451,9	1,4	0,0	1,01	STO - J
37	41	0,25	77,9	26/32	1,3	0,5	1,01	451,9	449,7		2,21,01	2,19	J - T1
43	44	0,25	30,0	26/32	1,3	0,5	0,39	449,1	446,0	3,1	1,01	3,72	J - T2

PE 32 = 878.6 m PE 40 = 79.4 m Total = 958 m

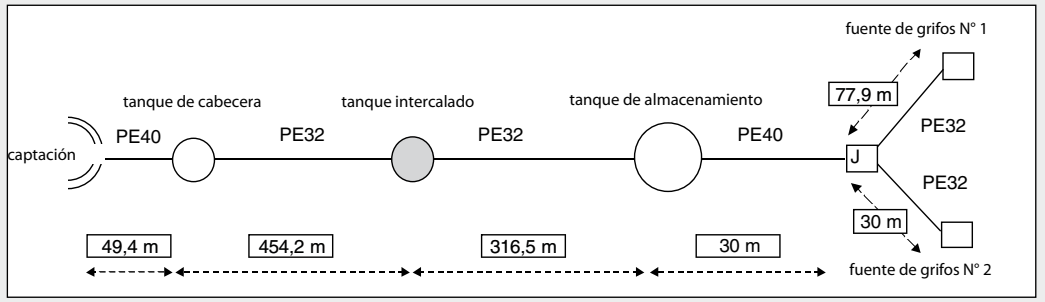


Figura 2: El sistema gravitatorio.

Perfil de presiones

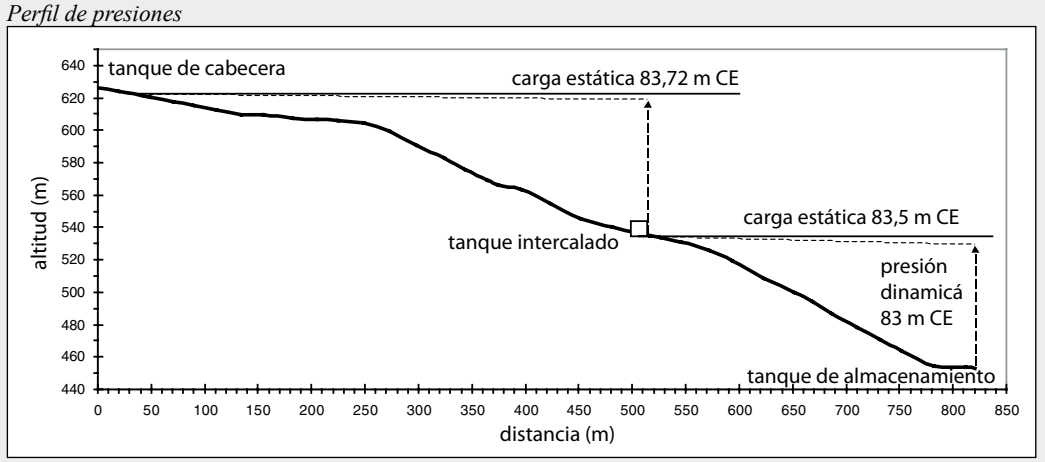


Figura 3: Línea principal de suministro.

	Manantial	Tanque de cabecera	Tanque rotura presión	Tanque almacenamiento
Altitud (m)	626,0	620,52	536,8	453,3
Diámetro tubo (mm)	33/40	33/40	26/32	
Longitud (m)	0	49,4	503,6	820,1
Caudal (l/s)	0,075	0,075	0,075	
Presión residual (m agua)	0	0,0	83,1	83,0

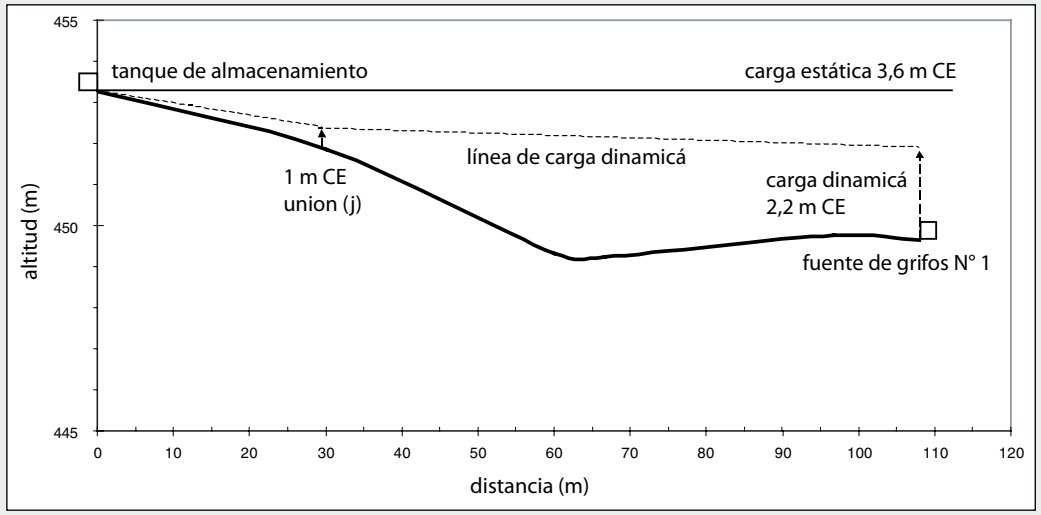


Figura 4: Desde el tanque de almacenamiento hasta la fuente de grifos 1.

	Tanque almacenamiento		Empalme		Fuente de grifos 1
Altitud (m)	453,3		451,9		449,7
Diámetro tubo (mm)		33/40		26/32	
Longitud (m)	0		30		107,9
Caudal (l/s)		0,5		0,25	
Presión residual (mca)	0,0		1,0		2,2

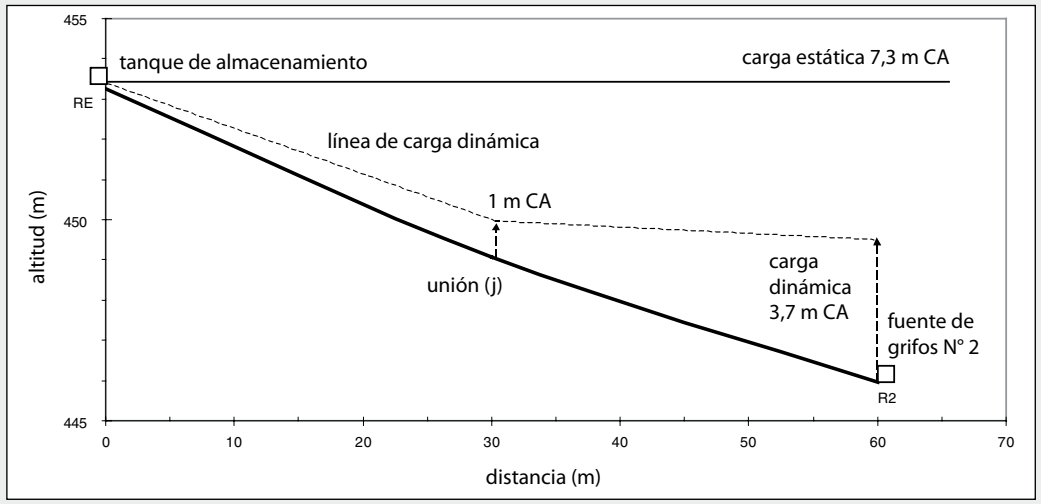


Figura 5: Desde el tanque almacenamiento hasta la fuente de grifos 2.

	Tanque almacenamiento		Empalme		Fuente de grifos 2
Altitud (m)	453,3		451,9		446,0
Diámetro tubo (mm)		33/40		26/32	
Longitud (m)	0		30		60
Caudal (l/s)		0,5		0,25	
Presión residual (mca)	0,0		1,0		3,7

TANQUE DE CABECERA (HT)		CAJA DE VÁLVULAS (HT/ VC)		FERRALLA PARA EL TANQUE	
Altura	1 m	Altura	0,9 m		
Diám. ext.	1,3 m	Longitud	0,8 m	*Lateral (virola)*	
				barra de 6-mm	
Espesor de pared	0,07 m	Espesor de pared	0,08 m	Malla, horizontal	0,12 m
Espesor tapa	0,08 m	Espesor tapa	0,08 m	Malla, vertical	0,12 m
Espesor suelo	0,15 m	Espesor suelo	0,1 m	Barra horiz.	17,90 m
Profundidad cimiento	0,15 m	Prof. cimiento	0,1 m	Barra vertical	17,90 m
Longitud circunf.pared	2,15 m				
Área exterior	1,33 m^2	Área pared lat.	2,16 m^2	*Tapa*	
Área interior	1,06 m^2	Área exterior	0,64 m^2	Barra de 6-mm	
Volumen exterior	1,33 m^3			Malla	0,12 m
Volumen interior	1,06 m^3			Barra	22,10 m
Volumen pared lateral	0,27 m^3	Volumen pared lat	0,17 m^3		
Volumen techo	0,11 m^3	Volumen techo	0,051 m^3	Suelo	
Volumen de la losa	0,20 m^3	Vol. de la losa	0,064 m^3	barra de 6-mm	
Volumen de la pared int.	0,078 m^3			Malla	0,12 m
Total 350 kg de cemento/m^3	**0,65 m^3**	**Total 350 kg/m^3**	**0,29 m^3**	**Barra**	**22,10 m**
Volumen cimentación	0,20 m^3	Vol. cimentac.	0,064 m^3	*Lados de la*	
Total 200 kg de cemento/m^3	0,20 m^3	Total 200 kg/m^3	0,06 m^3	Barra de 6-mm	
				Malla, horizontal	0,12 m
Cemento	269 kg	Cemento	114 kg	Malla, vertical	0,12 m
cemento + pérdidas	10%			Barra vertical	18,0 m
p.ej. 420 kg	8,4 sacos		9 sacos		
			0,45 t	*Tapa + suelo*	
				Barra de 6-mm	
Total ferralla barras + pérdidas	10%	Peso	0,21 kg	Malla	0,12 m
p.ej. 29.3 kg	126.8 m			Barra	10,7 m
TANQUE DE ALMACENAMIENTO			Demanda teórica (m^3)	2,68	
			Demanda real (m^3)	3,50	
			Anchura de tanque (m)	2,00	
			Longitud de tanque (m)	2,00	
			Demanda de altura (m)	0,88	
			Altura para sedimentación (m)	0,25	
			Altura para aireación (m)	0,25	
			Altura total (m)	1,38	
Altura del tanque (m)	1,38	HT			
Altura del agua (m)	1,13	HW			
Anchura interna del tanque (m)	2,00	LA	Anchura VC	1,2 LA2	
Longitud interna del tanque (m)	2,00	LO	Longitud VC	1,2 LO2	
Volumen del tanque (m^3)	4,50				
Momento máximo de curvatura (kg. m)			CÁLCULO DE LAS BARRAS DE REFUERZO		
M_{max} = p x H3 / 6	237,3047				
Espesor de pared mínimo					
e = 2 x rac2 (M_{max}/100)	3,08		Elección	12 cm	
				0,12 m	
			Peso alambre	0,025 kg/m	
Sección de barra de hierro vertical por metro de pared lateral			*Sección de barra de hierro horizontal por metro de pared lateral*		
A_{barV} = M_{max} / (T_{bar} x z)	5,33 cm^2		A_{barH} = 1/3 A_{barV}	1,78 cm^2	
z = 7/8 x e					
T_{bar}	1 650 kg/cm^2				
Barras verticales disponibles de 10 mm de diám			*Barras horizontales disponibles de 8 mm de diám*		
Sección vertical	0,79 cm^2		Sección horiz.	0,50 cm^2	
Número de barras verticales	7,0		Número de barras horiz.	4,0	
Malla vertical	4,3 cm		Malla horiz.	25,0 cm	
Elección	12 cm		Elección	15 cm	

LADOS			
	Cantidad de barras v.	10 mm	
	Longitud	137,50 m	
	Peso	81,13 kg	
	Alambre de unión	70 m	
	Peso	1,7 kg	
LOSA		L	W
	Malla	15 cm	15 cm
	Diám. barras	8 mm	8 mm
	Longitud	26,67 m	26,67 m
	Peso	10,05 kg	10,05 kg
	Alambre de unión		25 m
	Peso		0,6 kg
CUBIERTA		L	W
	Malla	15 cm	15 cm
	Diám. barras	8 mm	8 mm
	Longitud	26,67 m	26,67 m
	Peso	10,05 kg	10,05 kg
	Alambre		25 m
	Alambre		25 m
	Peso		0,6 kg
LOSA DE LA CAJA DE VÁLVULAS		L	W
	Malla	10 cm	10 cm
	Diám. barras	6 mm	6 mm
	Longitud	14,4 m	14,4 m
	Peso	3,05 kg	3,05 kg
	Alambre		3 m
	Peso		0,1 kg
TAPA DE LA CAJA DE VÁLVULAS		L	W
	Malla	10 cm	10 cm
	Diám. de las barras	8 mm	8 mm
	Longitud	14,4 m	14,4 m
	Peso	5,43 kg	5,43 kg
	Alambre		24 m
	Peso		0,6 kg

Cantidad de barras h.	8 mm	
Longitud	110 m	
Peso	41,80 kg	
Total barras diám.10mm		138 m
	0,59	81 kg
pérdidas	10%	89 kg
Total barras diám.8mm		217 m
	0,38	82 kg
pérdidas	10%	91 kg
Total alambre unión		
peso	0,38	3,7 kg
pérdidas 10%	4,0 kg	
Total barras de diám.6mm		58 m
	0,21	12 kg
pérdidas	10%	13 kg

Volumen		Cemento (kg)	Cemento (sacos)	Pérdidas (%)	Total (sacos)
1.4	Lados	490	9,8	10	11
0.7	Losa 1	236	4,7	10	6
0.7	Losa cimiento	135	2,7	10	3
0.4	Tapa 1	126	2,5	10	3
0.1	Losa 2	50	1,0	10	2
0.1	Losa cimiento	29	0,6	10	1
0.1	Tapa 2	40	0,8	10	1
				Total	27 sacos
					1,35 t

MANANTIAL							
Pared inferior	Longitud	5 m	Malla	15 cm			
	Altura	0,6 m	Diám. de barras	8 mm			
	Espesor	150 mm					
	Cemento	350 kg/m³					
	Área	3,00 m²	Longitud barras	46 m		Calculada	10%
	Volumen	0,45 m³	Peso barras	18 kg	Cemento	0.33 t	0,4 t
	Cemento	157,5 kg	Alambre	17 m	Peso barras	53 kg	57,8 kg
	Arena	191 l	Peso alambre	0,4 kg	Peso alambre	1,2 kg	1,3 kg
	Grava	381 l					

Losa	Longitud	3 m	Malla	15 cm
	Anchura	2 m	Diám. de barras	8 mm
	Espesor	80 mm		
	Cemento	350 kg/m³		
	Área	6 m²	Longitud barras	85 m
	Volumen	0,43 m³	Peso barras	34 kg
	Cemento	168 kg	Alambre	30 m
	Arena	203 l	Alambre	0,8 kg
	Grava	407 l		
FUENTE DE GRIFOS				
Losa	Longitud	2,5 m	Malla	10 cm
	Anchura	2 m	Diám. barras	6 mm
	Espesor	100 mm		
	Cemento	350 kg/m³		
	Área	5 m2	Longitud barras	105 m
	Volumen	0,50 m³	Peso barras	24 kg
	Cemento	175 kg	Alambre	55 m
	Arena	212 l	Peso alambre	0,4 kg
	Grava	424 l		
Cubeto				
	Longitud	9 m	Malla	10 cm
	Anchura	0,1 m	Diám. barras	6 mm
	Espesor	100 mm		
	Cemento	350 kg/m³		
	Área	0,90 m²	Longitud barras	27 m
	Volumen	0,09 m³	Peso barras	6 kg
	Cemento	31,5 kg	Alambre	18 m
	Arena	38,12 l	Peso alambre	0,1 kg
	Grava	76,25 l		
Pedestal de la fuente				
	Longitud	1,35 m	Malla	10 cm
	Anchura	0,15 m	Diám. barras	6 mm
	Espesor	150 mm		
	Cemento	350 kg/m³		
	Área	0,20 m²	Longitud barras	6 m
	Volumen	0,03 m³	Peso barras	1 kg
	Cemento	10,631 kg	Alambre	4 m
	Arena	12,87 l	Peso alambre	0,03 kg
	Grava	25,73 l		
Cámara de válvulas				
	Longitud	2,6 m	Malla	10 cm
	Anchura	0,5 m	Diám. barras	6 mm
	Espesor	80 mm		
	Cemento	350 kg/m³		
	Área	1,30 m²	Longitud barras	29 m
	Volumen	0,10 m³	Peso barras	7 kg
	Cemento	36,40 kg	Alambre	16 m
	Arena	44,05 l	Peso alambre	0,11 kg
	Grava	88,11 l		
Cubeto (Faldón)				
	Longitud	2,7 m	Malla	10 cm
	Anchura	2,2 m	Diám. barras	6 mm
	Espesor	100 mm		
	Cemento	200 kg/m³		
	Área	5,94 m²	Longitud barras	124 m
	Volumen	0,59 m³	Peso barras	28 kg
	Cemento	118,80 kg	Alambre	64 m
	Arena	274,46 l	Peso alambre	0,45 kg
	Grava	548,92 l		

Total para una fuente de grifos	
Cemento	0,372 t
Cemento	8 sacos
Barras 6	145 m
Barras 6	30,5 kg
Alambre	0,5 kg

Resumen de materiales y coste de un sistema de distribución gravitatorio.
Lugar: Ban Houn
Fecha: 22 de julio, 1998

Material y accesorios	Unidad	Coste unitario (USD)	Componentes del sistema: Manantial	HT	BPT	Tubería	Tanque de almace-namiento	Fuente de grifos	Total requerido	Coste total (USD)
FERRALLA										
Barras diám.10	kg	0,65	11				115		126	81,90
Barras diám.6	kg	0,65		25	20		5	35	85	55,25
Barras diám.8	kg	0,65	8				55		63	40,95
Alambre de 1 mm	kg	1,89							10	18,90
CONSTRUCCION										
Ladrillos	unidad	0,04					400		400	16,00
Cemento	t	95	0,3	001	001		001	0,6	003	251,75
Barras diám.8	kg	0,5							4	2,00
Barras diám.6	kg	0,5							2	1,00
Aditivo para cemento	kg								10	
VALVULAS										
Válvula de bola de ½"	unidad	8,82							15	128,58
Válvula de bola de ½"	unidad	8,82							15	128,58
Grifo Talbot3/4"	unidad	16						2	2	32,00
Válvula de compuerta ¾"	unidad	44						2	2	88,00
Válvula de asiento 1"	unidad	39			1				1	39,00
Válvula de compuerta1 ½"	unidad	14,29		1	1		1		3	42,87
Junta para válvulas	unidad	1							20	20,00
PVC										
Empalme1" ½	unidad	0,26					1		1	0,26
Adaptador H 1"1/2	unidad	2	1	1	1		1		4	8,00
Adaptador H 2"	unidad	6	3	2	2		1		8	48,00
Adaptador M 2"	unidad	0,43		2	2		1		5	2,15
Codo 90° 2"	unidad	4,76	2	1	1				4	19,04
Tubo PVC 1" ½	m	0,63	1,5	1,5	1,5		2,0		6,5	4,10
Tubo PVC 2"	m	1	12,0	16,0	16,0		12,0		56,0	56,00
Cola para PVC	lata								1	
HDPE (polietileno de alta densidad)										
Te de 90° 32 x 32 x 32	unidad	4,9				1			1	4,90
Conector de compresión 32 x 32	unidad	2,84				9			9	25,56
Reductor 40 x 32	unidad	4,29				1			1	4,29
Tubo HDPE DN 32 PN 10	m	0,36				920			920	331,20
Tubo HDPE DN 40 PN 10	m	0,56				80			80	44,80
Adaptador H 32 x 1"	unidad	1,72					1		1	1,72
Adaptador M 32 x 1"	unidad	1,7		1	2			2	5	8,50
Adaptador M 40 x 1" ½	unidad	3	1	1					2	6,00
HIERRO GALVANIZADO										
Codo ¾"	unidad	0,33		1	1		3	12	17	5,61
Codo 1"	unidad	1,2			2		2		4	4,80
Codo 1" ½	unidad	2,4		2					2	4,80
Codo 2"	unidad	1,79		1	1		3		5	8,95
Enlace ¾"	unidad	0,6						8	8	4,80
Enlace 1"	unidad	0,8			4		4		8	6,40
Enlace 1" ½	unidad	1,5		3	3		3		9	13,50
Enlace 2"	unidad	2,2		3	3		3		9	19,80
Tubo ¾"	m	1,92		1,0	1,0		3,5	6,0	11,5	22,08
Tubo 1"	m	2,72			1,0		2,0		3,0	8,16
Tubo 12 ½	m	3,76	0,5	1,5	0,5		0,5		3,0	11,28
Tubo 2"	m	4,7	1,0	2,0	2,0		3,5		8,5	39,95
Reductor FF 1" - ¾"	unidad	0,85						2	2	1,70
Reductor MF 1" ½ - ¾"	unidad	1,28		1	1		1		3	3,84
Empalme 1" ½	unidad	2,15	1						1	2,15
Te 1" ½	unidad	3,24		1	1		1		3	9,72
Te 2"	unidad	4,72		2	1		1		4	18,88
Unión ¾"	unidad	2					1	4	5	10,00
Unión 1"	unidad	3,22			2		1		3	9,66
Unión 1" ½	unidad	3,96		2	2		2		6	3,76
Unión 2"	unidad	6,8		2	2		2		6	40,80
COSTE TOTAL										**1 653,36**

5 DISTRIBUCIÓN DE AGUA DE POZOS PERFORADOS EN EMERGENCIAS

5.1 Ejecución

En los casos de pozos perforados productivos con caudales de varios m^3/h, y en ciertos contextos (situaciones de emergencia, áreas densamente pobladas o urbanas, etc.) se puede instalar una bomba sumergida para dar suministro a una serie de fuentes de grifos en vez de usar varios pozos perforados dotados de bombas manuales. La ejecución es más rápida y la gestión de un sistema motorizado es más sencilla que el mantenimiento de una serie de bombas manuales. Además se puede instalar un sistema de cloración del agua en el tanque de distribución. Esta solución es más simple y flexible que un sistema de tratamiento en cada casa y tiene importancia singular en regiones donde el cólera es endémico y los riesgos de epidemias son elevados. Finalmente, si se establece un sistema de gestión, estos mini-sistemas, construidos a menudo bajo condiciones de emergencia, se pueden mantener y mejorar para el suministro de un área que no tiene suministros suficientes con un sistema permanente para la población local. El mini-sistema consta de:

– un pozo perforado de 103-113 mm ó 112-125 mm (o incluso de 167-180 mm que permite instalar una bomba sumergida de 6" para producir grandes caudales);

– una estación de bombeo dotada de una bomba sumergida de 4" y un generador;

– un tanque de almacenamiento colocado a suficiente altura como para suministrar un sistema gravitatorio de distribución;

– un sistema de desinfección de agua con cloro (HTH);

– tuberías de suministro de agua primarias y secundarias que lleven agua a las fuentes de grifos;

– fuentes de grifos de emergencia con un mínimo de instalaciones (para evitar en lo posible que se embarre el suelo).

La elección de una bomba sumergida depende del caudal y la presión requerida (ver Capítulo XIV), pero siempre se puede usar una bomba sumergida con el equipo estándar conectado a un generador si es necesario. El tanque de almacenamiento puede ser permanente o temporal dependiendo de la situación. Hay tanques de emergencia fabricados con chapa corrugada y revestimientos con capacidades estándar de 45, 70 y 95 m^3, se montan con rapidez y están muy indicados para situaciones semipermanentes (varios años). Sin embargo, se han de montar sobre el suelo. Si se requiere montarlos en altura, se prefiere usar tanques del tipo Braithwhaite fabricados con paneles de hierro galvanizado que se pueden montar permanentemente sobre una torre metálica. Las dimensiones y volúmenes de este tipo de tanques que se ofrecen normalmente oscilan entre algunas docenas de metros cúbicos y varios centenares.

Para simplificar, se considera estándar una tubería de 2" para instalaciones pequeñas de emergencia (instalación de fuentes de grifos de emergencia, descargas de bombas, conexiones estándar). En sistemas más complejos, que duran varios años, es primordial diseñar todo el sistema correctamente (tal y como se muestra anteriormente en este Capítulo). Las tuberías se entierran, excepto en emergencias extremas en las que esto se lleva a cabo en una segunda fase.

El sistema de cloración del agua consta, bien, de una bomba dosificadora proporcional al caudal tipo Dosatron o de un sistema simple de goteo instalado en el tanque. (Precaución: el cloro ataca el metal de los tanques, ver Capítulo VI).

5.2 Recursos humanos y financieros

La Tabla 18.XIX muestra una lista del personal necesario para llevar a cabo un mini-sistema de suministro desde un pozo perforado en una emergencia.

Tabla 18.XXIX: Personal necesario para un mini sistema de emergencia en un pozo perforado.

Equipo	Sueldo mensual indicativo (US$)
1 electricista (instalación y reparación de bombas)	150-200
1 capataz	150-200
1 persona responsable de la estación	
(escogida de entre la comunidad)	40-60
2 fontaneros (por obra)	100-150
12 peones (por obra)	40-80
2 albañiles (por obra)	100-150
1 conductor	60-80

El coste del mini-sistema de un pozo perforado (excluyendo el pozo perforado) que suministra dos tuberías de agua de 250 m y seis fuentes con cuatro grifos cada una, para abastecer a una población de 3200 personas, se indica en la Tabla 18.XXX. El tanque de almacenamiento es un Braithwhaite de 24 m^3.

Tabla 18.XXX: Coste (€) del mini-sistema de distribución desde un pozo perforado de 6 m^3/h, que da 48 m^3/día y cubre una demanda de emergencia de 15 l/persona/día.

	Coste unitario	Cantidad	Coste total
Equipo de bombeo	5 000	1	5 000
Tanque Braithwhaite de 24 m^3	5 000	1	5 000
Fuentes de grifos	270	6	1 620
Sistema de dosificación Dosatron	1 100	1	1 100
Tubo de 2" (m)	6	500	3 000
Equipo de accesorios de distribución	2	1 500	3 000
Existencias de HTH (kg)	4	100	400
Equipo para análisis bacteriológico	2 500	1	2 500
Total			**21 620**

El agua se distribuye en dos períodos de 2 h/día, uno por la mañana y otro por la tarde. El caudal por grifo se establece entre 0,15 y 0,2 l/s. El tanque se llena en 4 h, durante la tarde para la mañana siguiente, y de 11:00 a 15:00 para el suministro de la tarde.

6 DISTRIBUCIÓN DE AGUA DESDE RÍOS EN EMERGENCIAS

6.1 Operación

Estos sistemas de suministro en emergencias necesitan estaciones de producción y tratamiento que usan agua superficial (lago o río). El agua se distribuye por medio de un sistema ramificado a unas fuentes de grifos.

El sistema de tratamiento de agua es de una tecnología simple, consistente por lo general de una floculación-sedimentación seguida de una desinfección con cloro. (Figura 18.38).

6.1.1 BOMBEO

El agua se bombea directamente desde un río por medio de una bomba motorizada montada en superficie (simple y barata), o con una bomba sumergida eléctrica de achique. El filtro de la bomba se mantiene 1 metro por debajo de la superficie del agua con la ayuda de un flotador o instalado en un pozo de aspiración (ver Capítulo VI). La aspiración se sitúa tan lejos aguas arriba como sea posible en relación con el área habitada, procurando que tenga un máximo de protección contra la contaminación fecal.

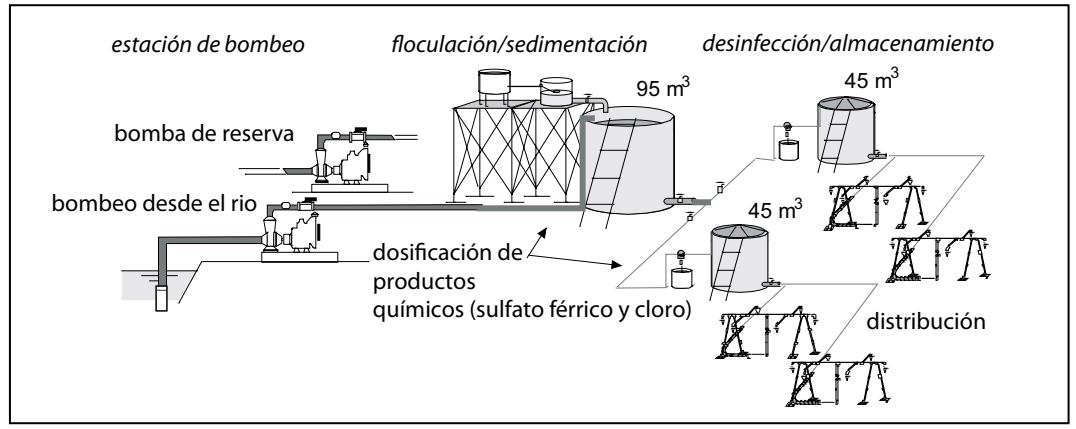


Figura 18.38: Plano general de un sistema de distribución de agua en emergencia.

6.1.2 FLOCULACIÓN - SEDIMENTACIÓN

Esta operación (ver Capítulo VI) se realiza de forma estándar en tanques rígidos inyectando un floculante tal como el sulfato de aluminio. La dosificación del reactivo requiere la preparación de una solución madre al 5% y una calibración (ensayo de los cubos) dependiendo de la turbidez del agua bruta.

6.1.3 DESINFECCIÓN Y ALMACENAMIENTO

Una vez sedimentada, el agua va a un tanque en el que se desinfecta y almacena antes de la distribución por gravedad.

Los tanques usados (tipo Oxfam – ver Sección 6.1.5) consisten en una serie de chapas corrugadas atornilladas con un revestimiento de caucho interior. Los tanques de almacenamiento-desinfección se han de tapar. Los volúmenes usados generalmente son de 45, 70 y 95 m^3.

6.1.4 UNIDAD MÓVIL DE TRATAMIENTO

El sistema consta de un tanque de 95 m^3 para la floculación/sedimentación con dos ciclos de sedimentación, más dos de 45 m^3 para la cloración y almacenamiento, para una producción diaria de 80 ó 160 m^3. La medida exacta del tiempo de decantación permite determinar el número diario de ciclos de llenado para la distribución (ensayo preliminar del tiempo de decantación – ver Capítulo VI). Para aumentar el volumen de agua tratada se añaden sencillamente más módulos de tratamiento (un tanque de sedimentación y dos de almacenamiento).

6.1.5 CONSTRUCCIÓN DE UN TANQUE RÍGIDO TIPO OXFAM

Estos tanques tienen un rango de capacidades y características dadas en la Tabla 18. XXXI. El ejemplo que se adjunta se refiere a la instalación de un tanque Even-Products de 45 000 l, cuyo tiempo de construcción fue de medio día con un equipo de seis personas (Tabla 18.XXXII).

Tabla 18.XXXI: Características de los tanques rígidos OXFAM.

Capacidad (l)	Altura (m)	Número de filas de chapas	Diámetro (m)
11 000	2,3	2	2,5
45 000	1,5	2	6,4
70 000	2,3	3	6,4
95 000	3,0	4	6,4

Tabla 18.XXXII: Instalación de un tanque Even-Products de 45 000 litros.

Limpieza del sitio retirando rocas y partículas gruesas
Marcado de dos círculos concéntricos (radios de 3,2 y 3,5 m)
Excavación de una zanja de 5 cm de profundidad entre los círculos
Depositar el tanque en el centro de los círculos
Montar la primera fila de planchas y colocarlas en la zanja
Consolidación de la base (interior y exterior) con tierra o arena
Montar la segunda fila de planchas
Aplicar la cinta de protección y la cubierta de PVC
Instalar el revestimiento del tanque (el fondo del tanque es el suelo)
Fijar el revestimiento a la parte superior de la segunda fila de chapas con pinzas
Cortar un agujero en el revestimiento a la altura de la salida y colocar bridas
Instalar el mástil central y las cuerdas conectando este mástil con los lados del tanque
Colocar el techo del tanque, atirantándolo con latiguillos elásticos

6.1.6 FILTRACIÓN - FLOCULACIÓN

Los filtros que operan bajo presión tienen un diámetro de paso de 40 micras, se componen de partículas de carbón activo y un medio filtrante (grava, arena fina, etc.) El agua bombeada pasa directamente a través de los filtros tras la inyección del floculante, el principio se basa en la retención de los flóculos en los filtros (se siguen desarrollando experimentos y estudios al respecto). El tiempo de contacto necesario para la coagulación tiene lugar dentro de los tubos.

La mayor desventaja de este sistema de tratamiento consiste en el bloqueo rápido de los filtros cuando el agua es muy turbia (> 100 NTU). En estos casos es necesario hacer contra-lavados frecuentes que consumen mucha agua: el caudal baja rápidamente de 10 a 5 m^3/h.

Una solución consiste en colocar este filtro aguas abajo del sistema normal de tanques de floculación-sedimentación (Experimento de Bô, ACF Sierra Leona, 1996). De este modo, las variaciones de turbidez del agua que sale del tanque de sedimentación se pueden evitar, y los flóculos residuales se retienen en el filtro.

Este sistema es particularmente útil en los casos de mala floculación-sedimentación por la variación repentina de la turbidez del agua bruta (por las tormentas, etc.); y también para acortar la duración del tratamiento del agua, lo que permite dos ciclos de sedimentación diarios, doblando así la producción de agua tratada.

6.2 Ejemplo del sistema de Aswha

Aswha está situado al sur del Sudán, a unos 400 km de la frontera de Uganda: se instaló allí un sistema en 1993 para suministrar agua a un campo de 5 000 personas desplazadas (Figura 18.39).

6.2.1 ESTACIÓN DE BOMBEO Y SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Situada a orillas del río Ashwa, la estación de bombeo consta de una bomba Atlanta diesel de dos cilindros accionada por un motor Lister-Petter. El consumo diario de gasóleo es de 15 l bombeando durante 4 h. La carga de la aspiración varía de 2 a 7 m dependiendo del nivel del río. El tubo de aspiración de 15 m tiene un filtro y una válvula de pie. El tubo de suministro enterrado tiene una longitud total 700 m y es de tubos de PVC de 3” con juntas incrustadas.

El desnivel total entre la bomba y la estación de tratamiento (Tabla 18.XXXIII) es de 35 m. La presión residual en el tubo es de 20 m de columna de agua. El caudal es de 30 m^3/h. Las pérdidas de carga se estiman en 25 m de columna de agua.

Tabla 18.XXXIII: Unidad de tratamiento.

dos tanques de 95 m^3 para la sedimentación
tres tanques de 45 m^3 para almacenar agua clorada
cimentaciones de los tanques: losa de hormigón y piedra de base de 30 cm

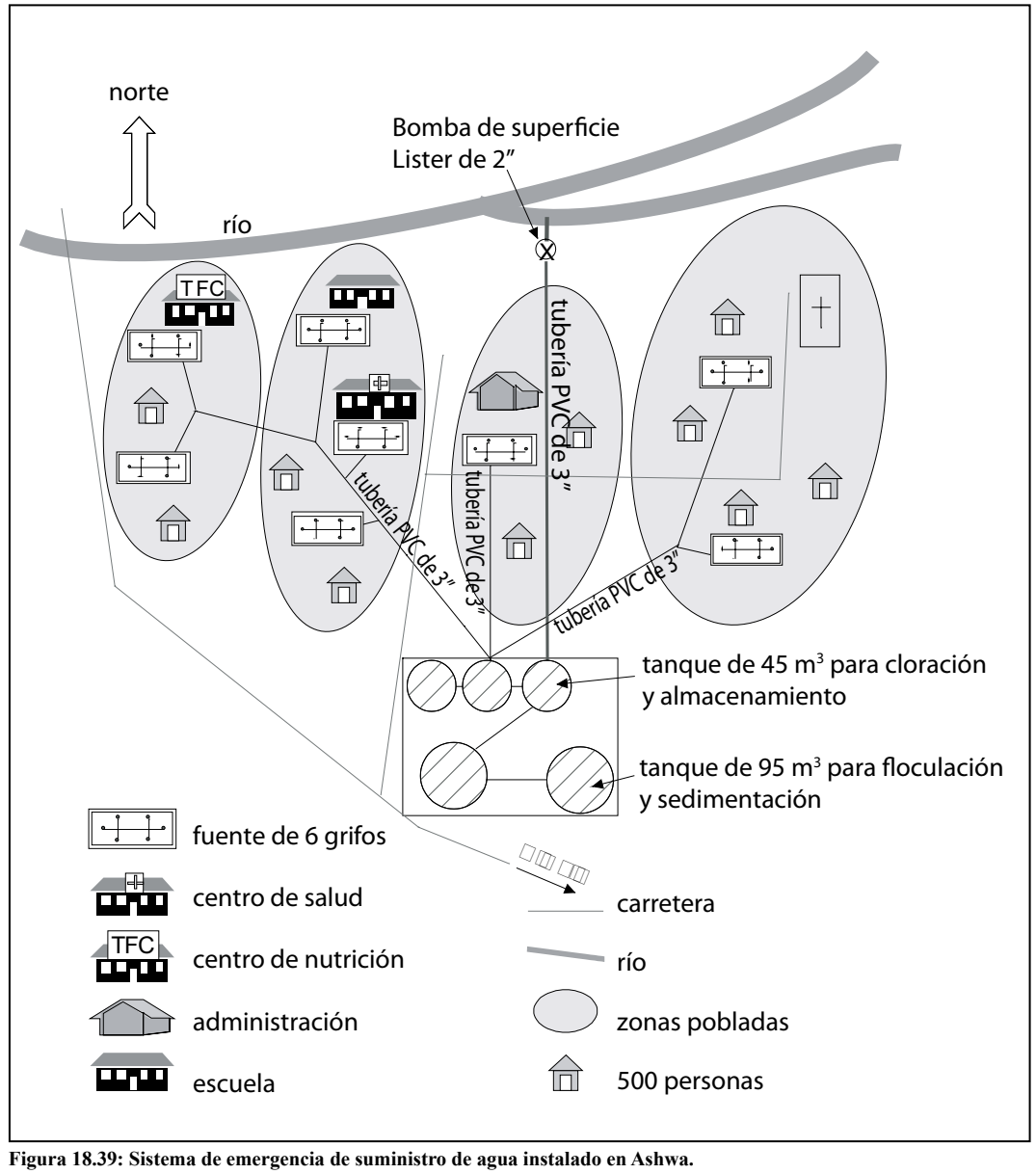


Figura 18.39: Sistema de emergencia de suministro de agua instalado en Ashwa.

6.2.2 OPERACIÓN

La producción diaria es de 120 m^3 de agua tratada. Los tanques se llenan en una sola operación de bombeo durante cuatro horas de la tarde.

El aditivo para la floculación se mezcla simultáneamente con el llenado de los dos tanques de 95 m^3. Tras una sedimentación de una noche, los tanques se vacían en los tanques de cloración (duración: 3 h). La solución de cloro se añade al primer tanque por la mañana. El agua tratada se distribuye por el sistema gravitatorio por la tarde.

El consumo de productos de tratamiento se indica en la Tabla 18.XXXIV, y los resultados del tratamiento en la Tabla 18.XXXV.

Tabla 18.XXXIV: Consumibles.

Sulfato de aluminio	8 kg/día
Hidróxido de calcio [$Ca(OH)_2$]	3 kg/día
HTH al 65%	360 g/día
Rojo de fenol	
(para determinar el pH)	12 tabletas/semana
DPD 1 (cloro libre residual)	12 tabletas/semana

Tabla 18.XXXV: Resultados del tratamiento.
T= tanque de almacenamiento.

Parámetros	Antes del tratamiento	Después del tratamiento	En el sistema
Turbidez (NTU)	80	< 5	
pH	7,8	6,8	7
Cloro libre residual (mg/l)	0	T1: 0,6 – T3: 0,3	0,25
Número de coliformes			
fecales/100 ml	> 50		0
Caudal medio por grifo (l/s)			0,2

6.2.3 RECURSOS HUMANOS Y GESTIÓN DE LA ESTACIÓN

El personal de la estación es el que planifica diariamente las fases del tratamiento (llenado-floculación-sedimentación-desinfección) y el horario de distribución (Tabla 18.XXXVI). El registro diario actualizado indica el volumen de agua tratada, la dosificación de productos químicos, según la turbidez, el cloro libre residual, el pH antes y después de la floculación, y los niveles de aluminio tras el tratamiento. Se hacen análisis bacteriológicos regulares para verificar la calidad del agua antes y después del tratamiento.

Tabla 18.XXXVI: Personal requerido para una estación de bombeo.

1 jefe de estación, a cargo de la dosificación de aditivos, análisis y la operación
1 técnico, a cargo del mantenimiento de las bombas y equipos
2 peones sin especialización
guardas (día y noche)

6.2.4 COSTES DEL EQUIPO

Los recursos financieros necesarios para un sistema como el de Ashwa se indican en la Tabla 18.XXXVII.

Tabla 18.XXXVII: Coste (€) del equipo necesario para un módulo de tratamiento de coagulación-floculación de Ashwa.

	Coste unitario	Cantidad	Coste total
Bomba Diesel (30 m^3/h a 45 m)	2 500	1	2 500
Tanque rígido de 95 m^3			
(sedimentación, sin techo)	5 350	1	5 350
Tanque rígido de 45 m^3 (cloración y almacenamiento, sin techo)	4 300	3	12 900
Fuentes de grifos	270	8	2 160
Sistema dosificador, bomba dosif.	1 100	1	1 100
Tubo de suministro de 3” en PVC (m) y accesorios	6	700	4 200
Tubo de distribución de 3” en PVC (m)			
y accesorios	6	1 500	9 000
Cloro en polvo (kg)	4	500	2 000
Sulfato de aluminio (kg.)	1	250	250
Equipo de análisis bacteriológico	2 000	1	2 000
TOTAL			**41 460**

7 PUNTOS DE AGUA

La descripción técnica que sigue relaciona las etapas de construcción:
– movimiento de tierra,
– cimentaciones,
– hormigón armado,
– losa,
– fontanería,
– mampostería,
– canal de nivel constante,
– canal de desagüe.

Los materiales usados y el tiempo de construcción requerido para el punto de agua se indican en la Tabla 18. XXXVIII (el punto de agua tiene una salida, el suministro de agua se realiza con un tubo de 1”1/4 de hierro galvanizado, el canal de desagüe tiene 5 m de longitud).

Tabla 18.XXXVIII: Recursos necesarios para la construcción de un punto de agua.

Actividad	Mano de obra (hombres/día)	Piedras (m^3)	Arena (m^3)	Grava (m^3)	Cemento (50 kg)	barras de 6-mm (kg)	barras de 8-mm (12 m)	Accesorios fontanería
Excavación	4 operarios							
Cimentación	1,5 albañiles 4,5 auxiliar albañil	4,1						
Armado del hormigón	2 albañiles 6 auxiliares albañil					15	9 barras +2 kg de alambre	
Losa	2 albañiles 6 auxiliares de albañil		0,625	1,25	10			
Fontanería	1 fontanero 1 auxiliar							unión (1), te (2), empalme (2), empalme hembra (1), codo (1), tapón (2), tubo AG (1.25 m)
Mampostería	2 albañiles 6 auxiliares albañil	0,65	0,35		3			
Canal a nivel constante	0,006 albañil 0,018 auxiliar albañil	0,002	0,001		0,25 l			tubo de PVC de 75 mm o de AG 2”1/2 (0,10 m)
Canal de desagüe + losa	3 albañiles 9 auxiliar albañil	0,795	0,225	0,24	2,8	13 + 0,5 kg alambre		
TOTAL (redondeado)	**11 albañiles 33 auxiliares 1 fontanero y 5 peones**	**5,6**	**1,3**	**1,5**	**16**	**28 + 2,5 kg alambre**	**9 barras**	

7.1 Movimiento de tierra

El movimiento de tierra comprende todas las tareas requeridas en la preparación del terreno para el punto de agua y el área del lavadero. La elección de la situación de la fuente viene determinada en primer lugar con la pendiente: se necesita una pendiente mínima del 3% para la línea principal de suministro y una del 1% para los canales en el punto de agua y para el desagüe. Es necesario, por tanto, escoger una situación que reúna estas condiciones, al tiempo que se minimiza la longitud de la tubería de suministro para limitar los costes.

El punto de agua (Tabla 18.XXXIX) se rodea con estacas y cordel (nylon de 4 mm de diámetro). Los ángulos rectos se han de realizar a escuadra.

Tabla 18.XXXIX: Excavación requerida para situar el punto de agua.

Área requerida	3,00 m x 4,80 m = 14,4 m^2	
Profundidad de la cimentación	sección: 0 → 1,65 m	profundidad = 0,40 m
	sección: 1,65 → 4,80 m	profundidad = 0,45 m
Volumen de la excavación	6,25 m^3	
Mano de obra	4 hombres/día	

7.2 Cimientos

La profundidad de la cimentación es variable, depende de la naturaleza del suelo. Las profundidades usadas por ACF son bastante grandes, y se pueden usar en terrenos relativamente poco consolidados (Figura 18.40 y Tabla 18.XL).

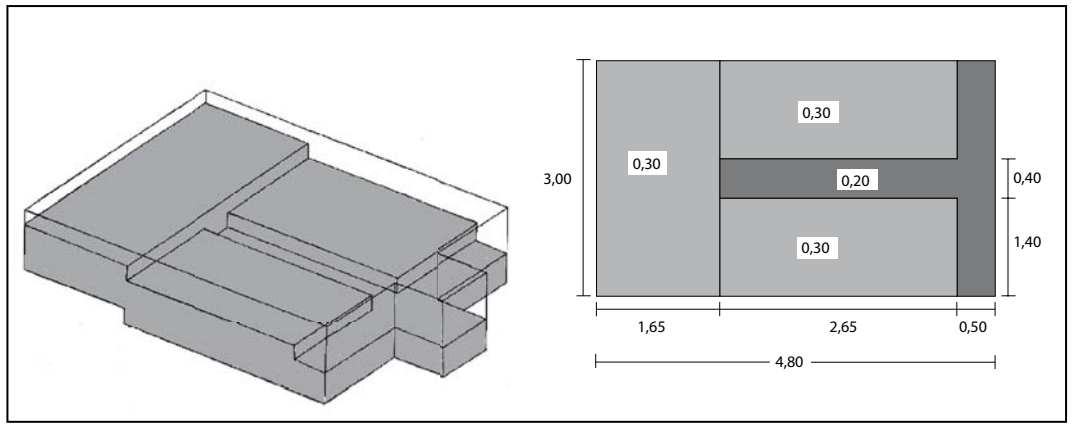


Figura 18.40: Cimentación de un punto de agua y zona de lavado. A: perspectiva. B: planta.

Tabla 18.XL: Cimentación para una fuente de agua con grifos. Esta cimentación se extiende 0,10 m más allá de la losa para proporcionar suficiente apoyo.

Tamaño de la piedra gruesa	sección: 0 → 1,65 m	profundidad = 0,30 m
	se 1,65 → 4,80 m	profundidad = 0,20 a 0,30 m
Volumen total de piedras	4,1 m^3	
Mano de obra	1,5 albañil/día	
	4,5 auxiliar albañil/día	

7.3 Losa (cubeto) de hormigón armado

La losa se construye de hormigón armado. La primera parte de la tarea consiste en preparar y colocar el armazón del refuerzo que se recubrirá con cemento (Figura 18.41). La segunda operación consiste en el vertido del cemento.

El hormigón se refuerza con barras de 8 mm (corrugadas) y de 6 mm (lisas), alternadas, formando una malla de 0,20 m. (Figura 18.41). Las barras se curvan en los extremos para proporcionar un anclaje mejor con el cemento.

Si se van a construir varios puntos de agua iguales, se puede hacer una plantilla para facilitar la preparación del refuerzo.

Hay que tener cuidado especial con la colocación del armazón, porque para asegurar la efectividad del refuerzo al cimiento es muy crítico que la colocación sea la exacta. Concretamente, la distancia entre las barras y la profundidad a la que se coloca el refuerzo deben mantenerse con precisión.

Para mantener las barras en la posición correcta, se usa alambre para fijar la malla y grava o piedras pequeñas que se recubren con el cemento cuando se vierte. El extremo curvado de las barras se sitúa a 0,02 m del extremo final del cemento.

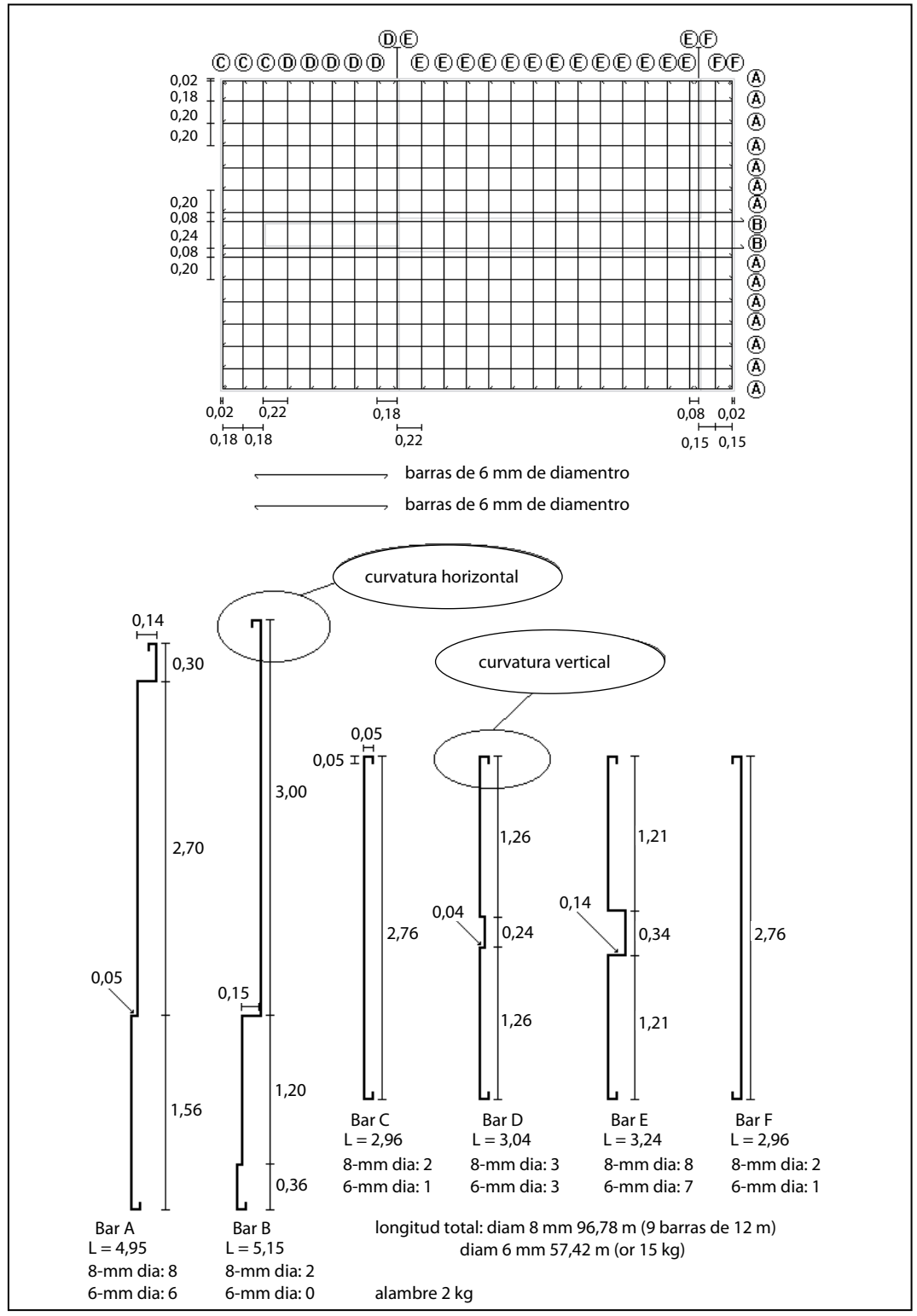


Figura 18.41: Armazón para el refuerzo de una losa. A: plano general. B: diámetros de las barras.

La cimentación del punto de agua y del área de lavado se construye de una sola pieza, para proporcionar suficiente solidez a todo el sistema. Si es difícil verter todo el cemento en una colada, especialmente si hay varios niveles de encofrado en una pendiente, se puede hacer en dos días, teniendo buen cuidado de dejar la superficie preparada para la siguiente capa (la superficie tiene que ser rugosa, limpia y bien humedecida).

La losa para el punto de agua, para la zona de paso y para las zonas del lavadero tiene un espesor de 0,10 m. El espesor del hormigón para los canales es de 0,05 m (Figuras 18.42 y 18.43).

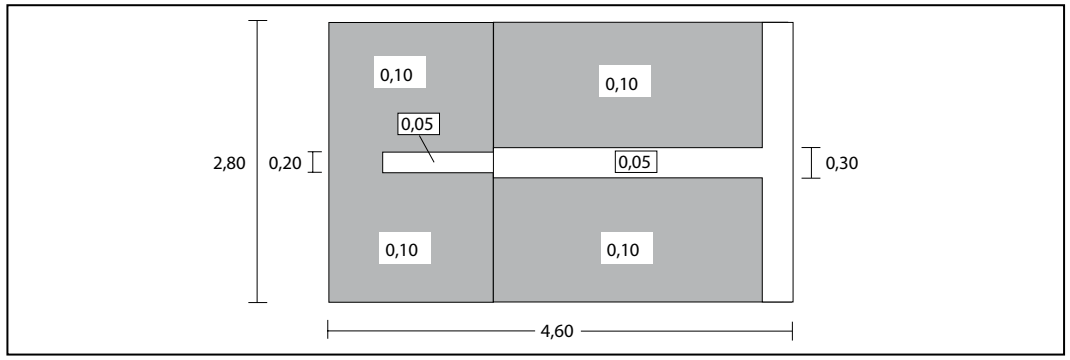


Figura 18.42: Plano de la losa.

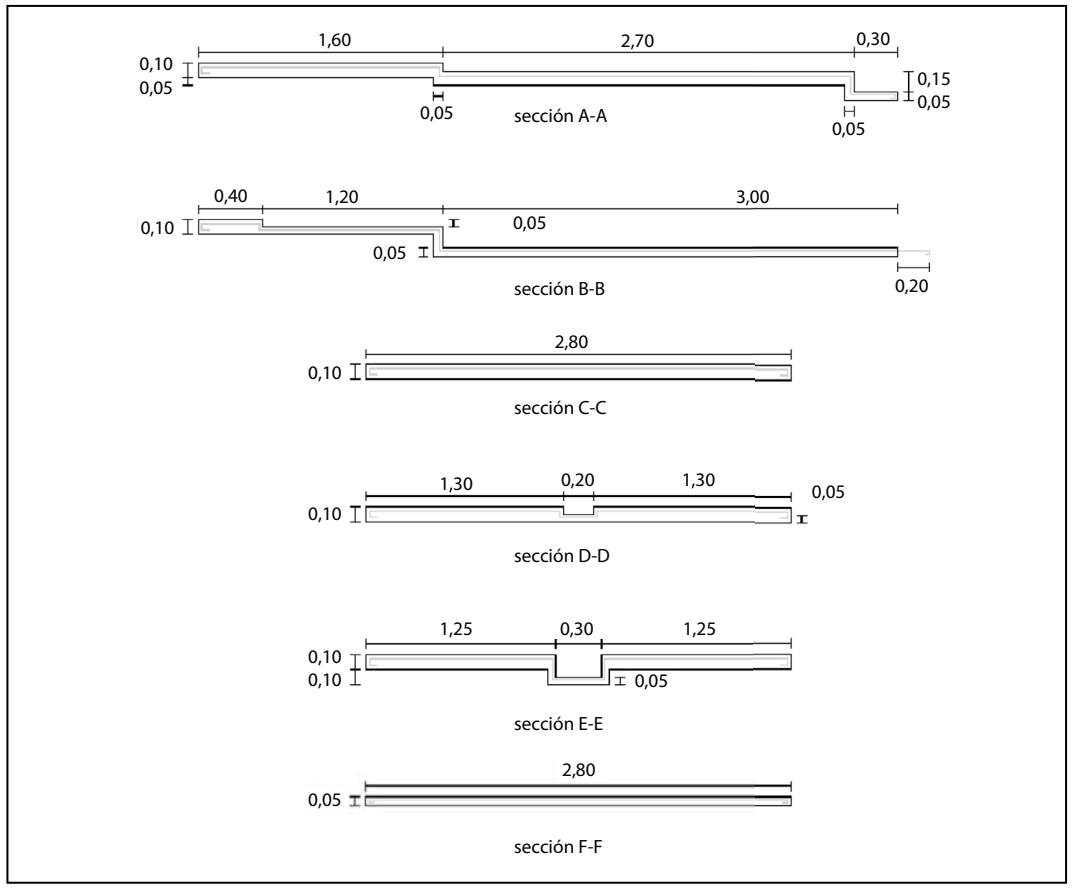


Figura 18.43: Secciones de la losa.

Hay que tener un cuidado especial en la preparación del hormigón; que tiene que tener una textura "plástica" para que fluya fácilmente por las barras de refuerzo. Al verter el cemento, hay que asegurarse de que los estériles no se sedimentan diferencialmente debajo del refuerzo (vibrar el cemento) y también de que el propio armazón no se mueva. Las cantidades a mezclar para el hormigón se dan en la Tabla 18.XLI.

Tabla 18.XLI: Características del cemento de 350 kg cemento/m³ usado en la losa.

Proporciones	1 volumen de cemento, 2 volúmenes de arena 4 volúmenes de grava
Volumen total de cemento	1,25 m³
cemento	10 bolsas de 50 kg
arena	0,625 m³
grava	1,25 m³
Mano de obra	2 albañiles/día 6 peones albañil/día

7.4 Fontanería

En el punto de agua, los tubos galvanizados están dentro de la mampostería (los de PVC no se adhieren bien al mortero ni al cemento). Los tapones se instalan en los tubos como se indica en la Figura 18.44:

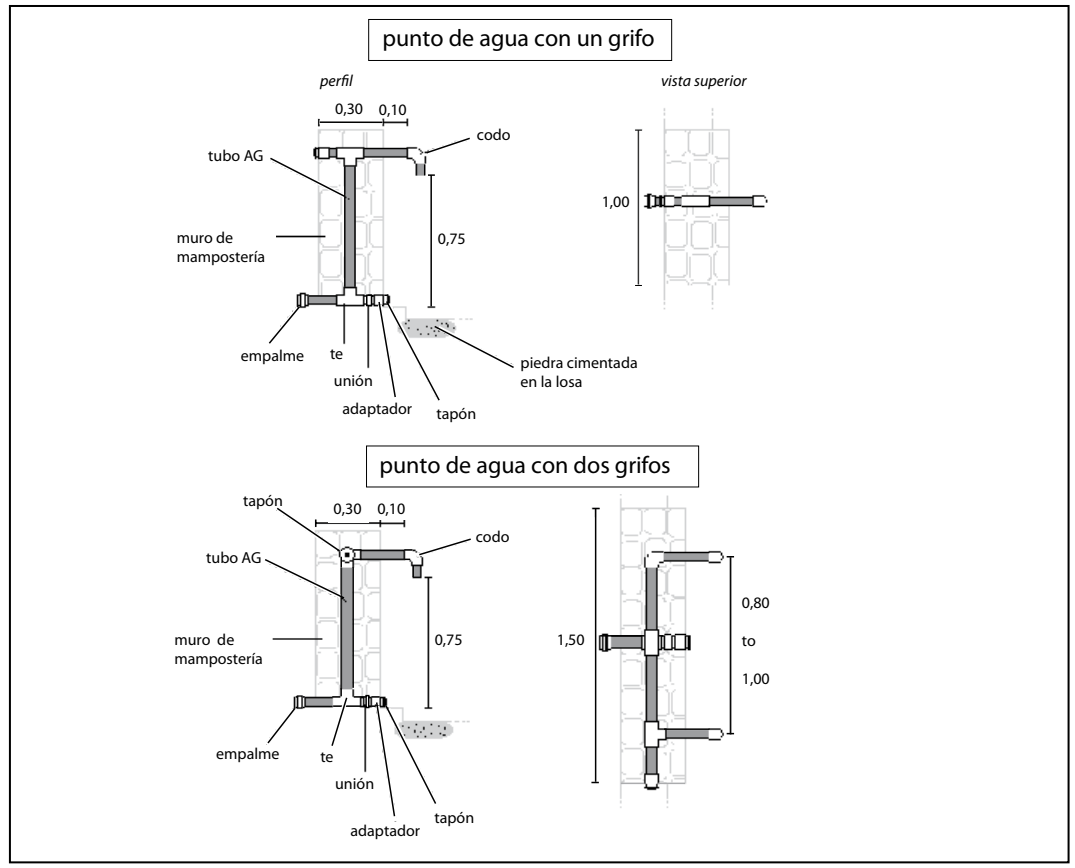


Figura 18.44: Fontanería en un punto de agua.

– Uno al fondo del punto de agua para permitir el desagüe del sistema de suministro.

– El otro al lado opuesto de la salida, de modo que se pueda limpiar cualquier obstrucción sin tener que desmantelar el punto de agua.

El diámetro a usar lo determina el caudal del manantial. En caso de manantiales de caudal variable, se busca un compromiso entre los caudales de la estación húmeda y seca para escoger el diámetro de la tubería de suministro.

7.5 Mampostería

El muro del punto de agua, los muros exteriores de protección y los muros interiores bajos de separación se hacen de mampostería. La cimentación sirve de base para la construcción. Se usan las siguientes dimensiones para los muros (Figura 18.45):

– para muros exteriores, espesor de 0,20 m y altura sobre el suelo de 0,20 m;

– para los muros interiores, espesor de 0,10 m y altura de 0,10 m para la separación de la zona de paso y recogida de agua y 0,15 m para la separación del área de paso de la zona de lavado.

Las dimensiones del punto de agua son variables, dependen del número de caños a instalar: se pueden hacer pilones de un diámetro de 0,30 m y altura de 1,0 m con los caños a 0,75 m del suelo (Figura 18.44 y Tabla 18.XLII).

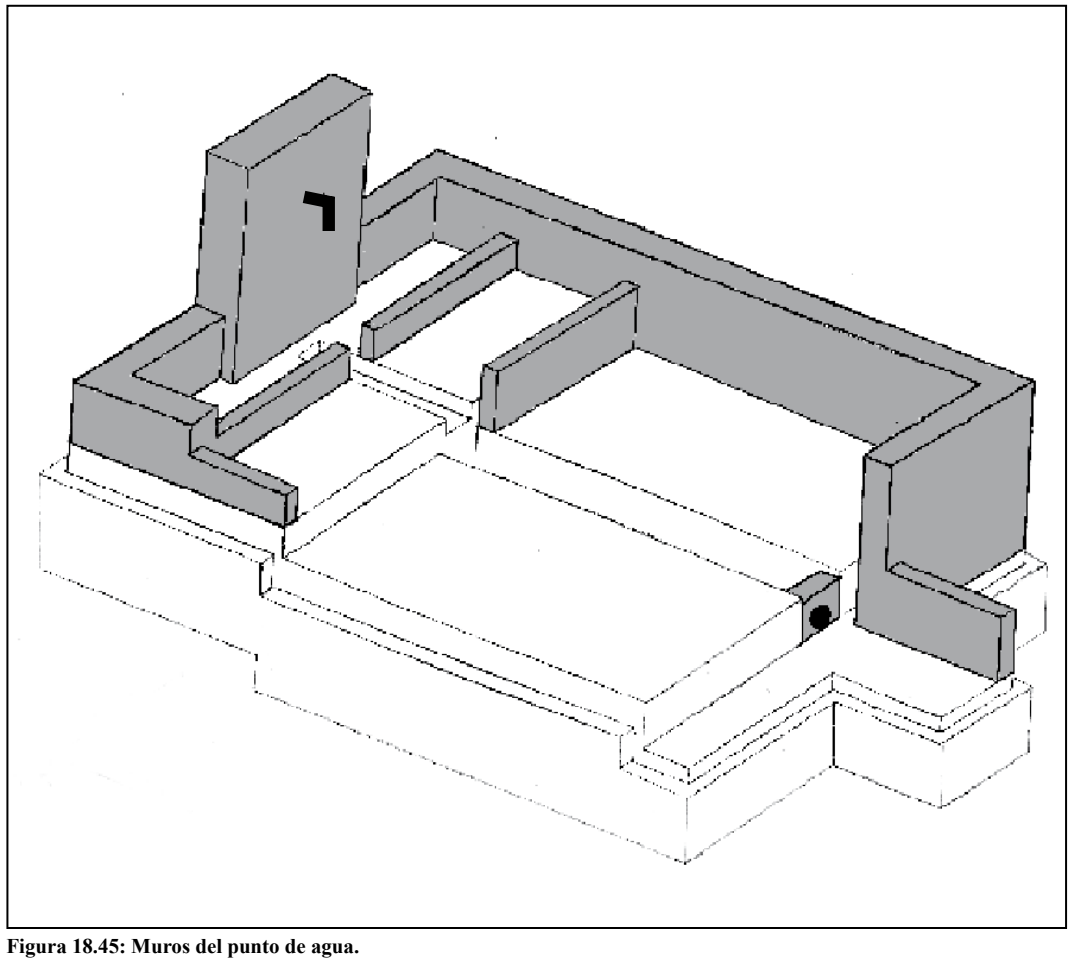


Figura 18.45: Muros del punto de agua.

Tabla 18.XLII: Materiales para la construcción de los muros de un punto de agua.
En estos cálculos, las dimensiones de los muros de un punto de agua son 1,00 x 1,00 x 0,30 para una sola salida.

Volúmenes requeridos	
Piedra	0,65 m^3
Mortero	0,35 m^3
	arena: 0,35 m^3
	cemento: 3 sacos de 50 kg
Mano de obra	2 albañiles/día
	6 peones/día

7.6 Canal a nivel constante

El objetivo consiste en tener siempre una reserva permanente de agua para lavar y limitar el transporte de agua. Si la salida del desagüe está obstruida (por un trapo, por ejemplo), el nivel de agua en el canal sube hasta el desbordamiento: retirando el "tapón" el agua desagua normalmente y el canal se puede limpiar.

El sistema consiste en colocar un tubo de 0,10 m de longitud (PVC de 75 mm o tubería galvanizada de 2" ½), dentro de la mampostería (0,10 x 0,10 x 0,30 m.) al final de la pared del canal, de modo que se forme una presa que se pueda taponar (Tabla 18.XLIII). El volumen total del canal lleno es de 78 litros.

Tabla 18.XLIII: Cifras para la construcción del canal.

Volúmenes requeridos	
Piedra	0,002 m^3
Mortero	0,001 m^3
	Arena: 0,001 m^3
	Cemento: 0,25 l
Tubo (PVC 75 mm o galvanizado de 2"1/2")	0,10 m
Mano de obra	0,006 albañil/día
	0,018 auxiliar albañil/día

7.7 Canal de desagüe

Este canal permite desaguar el agua desde el punto de agua hasta el sitio adecuado. Debe tener una pendiente mínima de 1% para asegurar el flujo adecuado y facilitar el desagüe.

El canal se puede construir con ladrillos sobre una cimentación de hormigón armado o directamente con hormigón armado. La longitud la determina la pendiente y la salida debe estar al nivel del suelo para evitar encharcamientos.

Es importante construir un zócalo al final para evitar que el agua socave el canal y disponer piedras alrededor del final del canal para que haya un área de infiltración. (Figura 18.46).

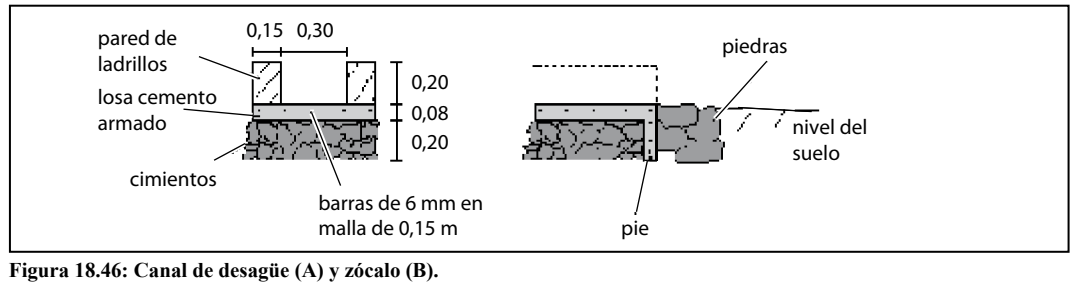


Figura 18.46: Canal de desagüe (A) y zócalo (B).

IV

Saneamiento

CAPÍTULO XIX

Saneamiento

1 Introducción 510
1.1 Saneamiento, un problema global 510
1.2 La importancia del saneamiento 510
2 Enfermedades relacionadas con el saneamientos y su control 511
3 Elementos clave para la implementacion de un proyecto de saneamiento ambiental 512
3.1 Importancia de los factores socio-culturales y de la percepción que tiene la comunidad del saneamiento 512
3.1.1 Un paso obligatorio 512
3.1.2 Factores socio-culturales, creencias y prácticas. 512
3.1.3 Saneamiento y género 513
3.2 Promoción del Saneamiento 514
3.3 Medios de trabajo y participación comunitaria 514
3.4 Saneamiento escolar y cuestiones de niños 514
3.5 Saneamiento y contaminación del agua subterránea 515
4 Eliminición de excrementos 517
4.1 Defecación en áreas abiertas 517
4.2 Letrinas que no necesitan agua (secas) 518
4.2.1 Letrinas de foso simple 518
4.2.2 Letrinas de foso mejoradas y ventiladas (VIP, ventilated improved pit) 518
4.2.3 Construcción 519
4.2.3.1 Materiales 519
4.2.3.2 El foso 519
4.2.3.3 La losa 522
4.2.3.4 Superestructura 524
4.2.4 Uso y mantenimiento 526
4.3 Letrinas con sello hidráulico 527
4.3.1 El principio 527
4.3.2 Construcción 527
4.3.3 Fosa séptica 528
4.3.3.1 El principio y sus limitaciones 528
4.3.3.2 Diseño de una fosa séptica (adapt. de Franceys, Pickford & Reed, 1992) 530
4.3.4 Aqua-Privy 531
4.3.5 Uso y mantenimiento 532
4.3.6 Vertido del efluente de una fosa séptica 532
4.4 Ventajas y desventajas de las letrinas simples, VIP y las de sello hidráulico 535
4.5 Letrinas de compostaje 535
4.5.1 Ventajas y desventajas 535
4.5.2 El proceso de compostaje 536
4.5.3 Ejemplos 536
4.5.3.1 Letrinas de compostaje LASF en Guatemala 536
4.5.3.2 Letrina de barril de compostaje en El Salvador 538
4.5.3.3 Letrinas de bodega en Kabul 539
4.6 Letrinas para suelos rocosos y congelados, para zonas con acuíferos superficiales y zonas propensas a inundaciones 541
4.7 Control de los excrementos en campos de refugiados o IDP 543
4.7.1. Campos o zanjas de defecación 543
4.7.2 Letrinas simples 546
4.7.3 Letrinas semi-permanentes o permanentes 546
5 Otras actividades de saneamiento ambiental 546
5.1 Estructuras de higiene personal 546
5.1.1 Instalaciones para el lavado de manos (y limpieza anal) 546
5.1.2 Zonas para duchas y lavado de ropa 547
5.1.2.1 Duchas 548
5.1.2.2 Zonas para lavaderos 549
5.2. Trampas para grasa 549
5.3 Drenaje del agua superficial 550
5.4 Control de vectores 551
5.4.1 Metodología 551
5.4.2 Uso de insecticidas 551
5.4.2.1 Implementación en terreno 552
5.4.2.2 Productos y preparación de soluciones 552
5.4.2.3 Organización de los locales de almacenamiento y preparación de los insecticidas 553
5.5 Gestión de residuos sólidos 554
5.5.1 Introducción 554
5.5.2 Enterramiento 554
5.5.3 Incineración 555
5.5.4 Contextos urbanos 556
5.5.5 Gestión de los residuos de un centro de salud 556

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Saneamiento, un problema global

Según la OMS y UNICEF, millones de niños sufren desnutrición, baja asistencia escolar y pérdidas económicas debido a enfermedades diarreicas que se podrían evitar con un saneamiento adecuado. Los excrementos humanos dispersan parásitos intestinales que afectan a 1.500 millones de personas alrededor del mundo (OMS, 1998) e igualmente son los responsables de la transmisión de enfermedades como la esquistosomiasis, cólera, tifus y muchas enfermedades infecciosas más que afectan a cientos de millones de personas. Las poblaciones más afectadas viven en situación de pobreza extrema en países en desarrollo, concretamente en áreas peri-urbanas y rurales.

La Tabla 19.I muestra la cobertura sanitaria global y la cobertura sanitaria en los países en desarrollo en los años 1990 y 2000. Conviene darse cuenta de la diferencia entre las áreas rurales (40%) y las áreas urbanas (83%) y que la cobertura sanitaria en las áreas rurales de los países menos desarrollados sólo llega al 35%. Además, a pesar de haber mejorado apreciablemente las condiciones sanitarias en el mundo entero entre 1990 y 2000, los países menos desarrollados no han mejorado al mismo ritmo, como indican las bajas cifras de saneamiento.

Tabla 19.I: Datos de cobertura sanitaria[1].

Datos globales de saneamiento			
	1990 – Población cubierta (%)	2000 – Población cubierta (%)	2008 – Población cubierta (%)
Urbana	77	77	76
Rural	36	41	45
Total	54	58	61
Datos países menos desarrollados			
	1990 – Población cubierta (%)	2000 – Población cubierta (%)	2008 – Población cubierta (%)
Urbana	65	67	68
Rural	28	35	40
Total	41	48	52

[1] *Fuente*: Programa de Monitoreo Conjunto (**JMP, Joint Monitoring Programme)** OMS/UNICEF, 2010, http://www.wssinfo.org

1.2 La importancia del saneamiento

Los estudios (Esrey et al, 1991) revelan que es mejorando la promoción del saneamiento y de la higiene como se consiguen las reducciones más significativas en las enfermedades diarreicas, mientras que mejorando el suministro de agua el impacto en la salud es más limitado (reducción de la morbilidad debida a diarreas del 36% mediante mejoras en el saneamiento y únicamente del 16% mediante la mejora de la calidad del agua), ver la Figura 20.2 en Capítulo XX. A pesar de ello, el saneamiento se percibe a menudo como un simple añadido a los proyectos de suministro de agua y no se considera como una solución independiente a una necesidad. En otros casos, las grandes inversiones hechas en los sistemas de distribución de agua a menudo tienen un impacto limitado en la salud, debido a la falta de actividades de saneamiento en el mismo proyecto.

Por lo tanto, cuando el objetivo general del proyecto es reducir el riesgo de morbilidad, las intervenciones en suministro de agua, saneamiento y promoción de la higiene se han de planear e implementar de forma integrada.

En algunos contextos de emergencia, donde hay una concentración elevada de personas en los campos de refugiados o en los campos de personas desplazadas internamente (IDPs), el riesgo de brotes epidémicos (p.ej. cólera, diarrea sangrante, etc.) es alto, ya que los riesgos sanitarios aumentan con el incremento de la densidad de población. En estos casos, el control de los excrementos es el factor clave que puede limitar el desarrollo y la transmisión de enfermedades. Por ello, en una intervención de emergencia, la provisión de infraestructuras sanitarias, particularmente aquellas relacionadas con la eliminación de excrementos, debe ser considerada como una prioridad.

El saneamiento ambiental incluye los siguientes sistemas: de eliminación de excrementos, sistemas de eliminación de aguas residuales, sistemas de recogida de basuras, sistemas de drenaje de agua de lluvia y control de vectores. El presente capítulo trata esencialmente de la gestión y disposición de los excrementos humanos y presenta brevemente otros aspectos del saneamiento ambiental.

2 ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL SANEAMIENTO Y SU CONTROL

Los organismos patógenos causantes de enfermedades intestinales (ver Tabla 19.II) viven en los excrementos o materia fecal de los seres humanos y animales. El contagio de un ser humano tiene lugar por alguna de las siguientes vías:

– contacto directo de las manos sucias con la boca o con alimentos y agua;

– uso de agua contaminada con materia fecal;

– transmisión a través de la fertilización de las tierras de cultivo con materia fecal o aguas negras (efluente de letrinas o sistemas de alcantarillado);

– transmisión por vectores.

El vertido inadecuado de residuos sólidos y líquidos contribuye al desarrollo y transmisión de varios tipos de enfermedades, al facilitar el desarrollo de patógenos y de vectores (ver Sección 5.4).

La Tabla 19.II muestra el resumen de una clasificación de patógenos según las enfermedades que transmiten y su origen.

Tabla 19.II: Patógenos presentes en la orina, excrementos y aguas grises (aguas residuales domésticas)[1].

Patógeno	Nombre de la enfermedad	Presente en		
		Orina	Heces	Aguas grises
Bacteria				
Escherichia coli	Diarrea	*	*	*
Leptospira interrogans	Leptospirosis	*		
Salmonella typhi	Tifus	*	*	*
Shigella spp.	Shigelosis		*	
Vibrio cholerae	Cólera		*	
Virus				
Poliovirus	Poliomelitis		*	*
Rotavirus	Enteritis		*	
Protozoos – ameba o cistos				
Entamoeba histolytica	Amebiasis		*	*
Giardia intestinalis	Giardiasis		*	*
Helmintos – huevos de parásito				
Ascaris lumbricoides	Gusano intestinal		*	*
Fasciola hepatica	Duela del hígado		*	
Ancylostoma duodenale	Gusano ganchudo		*	*
Necator americanus	Gusano ganchudo		*	*
Schistosoma spp	Esquistosomiasis	*	*	*
Taenia spp	Tenia		*	*
Trichuris trichiura	Gusano intestinal		*	*

[1] *Fuente*: Franceys, Pickford & Reed, 1992

La Tabla 19.III muestra el impacto potencial del saneamiento y la higiene personal en los diferentes grupos de enfermedades relacionadas con los excrementos. En la mayoría de estas enfermedades, los sistemas de eliminación de excrementos constituyen una de las medidas de control más importantes.

Tabla 19.III: Impacto del saneamiento y la higiene personal en las enfermedades relacionadas con los excrementos[1].

	Categoría	Impacto del Saneamiento
I	Fecal-oral no-bacteriana	Inapreciable
II	Fecal-oral bacteriana	Débil a moderado
III	Helmintos en el suelo	Elevado
IV	Parásitos de la vaca y el cerdo	Elevado
V	Helmintos en el agua	Moderado
VI	Vectores (insectos)	Débil a moderado

[1]Fuente: Adaptado de Cairncross & Feachem 1993

3 ELEMENTOS CLAVE PARA LA IMPLEMENTACION DE UN PROYECTO DE SANEAMIENTO AMBIENTAL

3.1 Importancia de los factores socio-culturales y de la percepción que tiene la comunidad del saneamiento

3.1.1 UN PASO OBLIGATORIO

El éxito de los proyectos de saneamiento depende de su aceptación por parte de la comunidad y de su adecuación a las condiciones de vida de la misma. Esto, que es cierto para toda clase de proyectos, resulta especialmente importante en los programas de saneamiento. Todos los aspectos del saneamiento están íntimamente relacionados con los hábitos y el comportamiento de la comunidad, que, a su vez, están sustancialmente condicionados por factores sociales y culturales.

Consecuentemente, el primer paso para el diseño de un proyecto de saneamiento consiste en la valoración de los diferentes factores de comportamiento y socio-culturales relacionados con el saneamiento. Por ello, es importante que la comunidad se involucre desde las etapas de diseño y planificación del proyecto. La relevancia del sistema sanitario para cubrir necesidades depende, no sólo de un buen diseño técnico, sino también de su aceptación por la comunidad, y debe estar adaptado a sus hábitos de vida. La importancia de las costumbres de limpieza anal (uso de agua, piedras, papel, etc.) es un ejemplo de cómo los hábitos de una comunidad influyen en el diseño de un sistema sanitario.

3.1.2 FACTORES SOCIO-CULTURALES, CREENCIAS Y PRÁCTICAS.

El control de los excrementos es un asunto de cierta sensibilidad para muchas comunidades y se requiere una atención especial para tratar los factores culturales y religiosos. La defecación es, a menudo, algo privado que las personas son reacias a tratar por vergüenza, repulsión u otras razones personales.

El saneamiento tiene una connotación religiosa en algunas culturas. Por ejemplo, hay personas que entierran los excrementos para eliminar a los malos espíritus. En otro caso, durante un programa de saneamiento de emergencia que ACF llevó a cabo en la región de Mindanao en Filipinas, el equipo se dio cuenta tras la construcción de varias letrinas, que no se usaban las que quedaban mirando hacia La Meca. Este factor tuvo que tenerse en cuenta para la construcción de nuevas letrinas.

En otras culturas tiene una connotación social. El contacto con los excrementos puede ser inaceptable o puede ser de responsabilidad de grupos sociales específicos. Para tratar este tema se deben requerir diferentes estrategias dependiendo de la estructura de la sociedad.

En muchas comunidades, la relación entre la falta de saneamiento y la aparición de enfermedades no la tienen clara. Sin embargo, el comportamiento de cada individuo frente al saneamiento guarda una lógica y las personas son conscientes por lo general de las razones ambientales que llevan al deterioro de la salud. En general, hay un buen entendimiento del medio ambiente, no sólo en el sentido físico, sino en el sentido de su relación con los factores sociales y espirituales. Esta visión integral del medio ambiente está enraizada en muchas creencias y costumbres culturales que influyen en los comportamientos sanitarios y en el uso del agua. Por tanto, es crucial determinar cómo las creencias, el conocimiento y la gestión del medio ambiente por la comunidad afectan al saneamiento y cómo se pueden adaptar estas circunstancias a cualquier programa potencial. Lo más importante es conocer y respetar las creencias de la comunidad.

Las costumbres de una comunidad no sólo están relacionadas con las creencias sino también con el conocimiento. Por ejemplo, numerosas comunidades alrededor del mundo están convencidas de que los excrementos de los niños no representan peligro alguno para la salud, cuando la realidad es que los niños tienen una incidencia mayor que los adultos de enfermedades relacionadas con los excrementos (Thomson et al, 2001), de modo que sus heces contienen más patógenos por lo general. Este error es un factor importante en la transmisión de enfermedades. Si no se tiene en cuenta esta realidad el impacto del proyecto se verá muy reducido.

Las creencias y las prácticas de una comunidad tienen que analizarse de forma comprensiva antes de escoger los diseños técnicos y los métodos de implementación de cualquier proyecto de saneamiento. Técnicas como las valoraciones CAP (conocimiento, actitudes y prácticas) y otras técnicas más participativas es lo que se usa para confeccionar este análisis. Estas técnicas se presentan en el Capítulo XX.

Los resultados de estas valoraciones permiten la planificación de:

– el método de implementación del proyecto (incluyendo la posibilidad de participación de la comunidad);

– las características técnicas de las infraestructuras sanitarias (diseño estándar de las letrinas, uso del agua, mantenimiento, etc.);

– y la localización de las letrinas (dentro o fuera de casa, orientación de la puerta, indicación para mujeres, seguridad para grupos vulnerables, etc.).

3.1.3 SANEAMIENTO Y GÉNERO

El género es un asunto importante a tener en cuenta en toda intervención sanitaria a causa de la percepción tan distinta que hay entre hombres y mujeres respecto al saneamiento, las diferentes necesidades y costumbres, y porque los hombres y las mujeres juegan un papel bien distinto en la gestión del saneamiento.

Las mujeres son a menudo responsables de las tareas de higiene y saneamiento en la comunidad y de la educación de los niños. En general, las mujeres tienen una mejor percepción que los hombres en cuanto al impacto del saneamiento en la salud, y son más proactivas en este tema. Por tanto, ellas representan un importante medio para diseminar la información a todos los miembros de las familias dentro de la comunidad. De aquí que la participación de las mujeres sea un factor clave en el éxito de un proyecto de saneamiento.

La privacidad y el riesgo de abusos sexuales son también importantes al considerar las necesidades de las mujeres. En relación con el tema de la privacidad, es importante tener en cuenta el hecho de que en muchas culturas es impensable que hombres y mujeres compartan la misma letrina. El acceso a letrinas públicas o a letrinas en el exterior de las casas puede también estar prohibido a las mujeres en países musulmanes. Así, ACF separó letrinas por géneros en Kountaya, Guinea Conakry. En relación con la violencia sexual, la construcción de letrinas en sitios aislados, en medio de matorrales sin iluminación, puede ser peligrosa para las mujeres durante la noche, especialmente en campos de refugiados.

3.2 Promoción del Saneamiento

Muchas personas no consideran el saneamiento como una prioridad, debido a la falta de conocimiento y conciencia sobre el tema, y por tanto no están convencidos de su importancia para la salud.

Las comunidades a menudo demandan intervenciones en agua o energía y es rara la vez que se pide ayuda para el saneamiento ambiental.

Por ello, cuando se identifica la necesidad de un proyecto de saneamiento, la clave es estimular la demanda por medio de actividades de promoción. Sin embargo, la promoción de la higiene no debe considerarse como una tarea secundaria o simplemente como una actividad más en la construcción de instalaciones de saneamiento. Las técnicas y metodologías de promoción de la higiene se describen en el Capítulo XX.

La aceptación de instalaciones de saneamiento por parte de la comunidad depende no sólo de su comprensión del impacto que tiene el saneamiento sobre la salud, sino también de otros factores sociales. Por ejemplo, es posible promover el orgullo de la comunidad o su sentido de la propiedad cuando se construyen letrinas nuevas. La propiedad y el uso de una letrina por algunas personas de la comunidad, comparado con otras que siguen defecando en el campo, se puede utilizar en la promoción social. En estas ocasiones, los propietarios de las letrinas las muestran a otras personas, contribuyendo así a la promoción de las mismas dentro de la comunidad. El diseño técnico de la letrina tiene que integrar estos factores. Por ejemplo, es posible promocionar la construcción de letrinas VIP utilizando la distribución de tuberías de ventilación para generar más interés.

3.3 Medios de trabajo y participación comunitaria

La participación comunitaria es crucial para el éxito de los proyectos de saneamiento. Un mayor nivel de participación comunitaria conlleva un grado mayor en el sentido de la propiedad que la comunidad tiene del proyecto y un incremento potencial para el éxito y la sostenibilidad de un medio limpio. Considerando los problemas relacionados con el interés de muchas personas en el saneamiento, es de una importancia primordial involucrar a las comunidades en cada fase del proyecto, desde su concepción inicial hasta la construcción y el mantenimiento. El nivel de participación en un proyecto de saneamiento es una medida del nivel de interés alcanzado en una comunidad y es indicativo de la probabilidad de éxito del proyecto.

Técnicamente, los trabajos de saneamiento no son complicados. El papel del técnico externo consiste en promover la importancia del saneamiento, apoyando a la población con materiales si es necesario y asesorando en cuestiones técnicas a la comunidad.

La construcción de letrinas (la excavación del foso de la letrina y la construcción de la superestructura) se lleva a cabo casi siempre por los miembros de la propia comunidad. Cuando en el diseño de la letrina se utilizan bloques de hormigón, un taller de formación es organizado bien por la propia comunidad, la organización a cargo o mediante un técnico externo.

3.4 Saneamiento escolar y cuestiones de niños

Los niños constituyen uno de los grupos más vulnerables dentro de las comunidades, especialmente en lo concerniente a cuestiones de salud. Generalmente son más susceptibles que los adultos frente a las infecciones relacionadas con los excrementos y la prevalencia de estas enfermedades entre los escolares suele ser elevada. Las escuelas son lugares de alto riesgo para el contagio de enfermedades y deben considerarse una prioridad de intervención en los programas de agua y saneamiento.

Además, como ya se vio en secciones anteriores, las actividades de saneamiento requieren un nivel de apoyo elevado mediante la promoción de la higiene. En estos casos, las escuelas juegan un importante papel en la capacitación y educación de los niños. Los niños son más receptivos al aprendizaje de buenas prácticas higiénicas que los adultos, y es más probable conseguir un impacto a largo plazo. Una ventaja adicional de la inclusión de las escuelas en la promoción de la higiene es la cooperación de los maestros, que son personas normalmente cualificadas y tienen la confianza de los niños.

Las intervenciones de saneamiento en las escuelas tienen un impacto en toda la comunidad. Por un lado, las instalaciones proporcionan un modelo de saneamiento correcto, y por otro lado, los niños promueven la construcción de infraestructuras de saneamiento y buenas prácticas higiénicas dentro de la familia. Esto es vital para todo programa, teniendo en cuenta que la promoción de la higiene en adultos es a menudo difícil, a causa de las prácticas y creencias establecidas desde hace tiempo.

Las instalaciones de saneamiento de las escuelas han de diseñarse teniendo en cuenta que serán usadas por niños, por lo que es importante:

– fijar la altura de los puntos de agua y de los sistemas de lavado de manos de tal manera que los niños puedan acceder a ellos;

– tener en cuenta las dimensiones del agujero de la tapa de la letrina;

– diseñar letrinas ventiladas con una entrada indirecta y sin puertas, de modo que el cubículo permanezca suficientemente oscuro para controlar la entrada de moscas, ya que los niños tienden a dejar las puertas abiertas;

– poner énfasis en el mantenimiento de las instalaciones e involucrar a los niños para sensibilizarlos sobre su uso correcto.

3.5 Saneamiento y contaminación del agua subterránea

La contaminación del agua subterránea es un riesgo asociado a la construcción de infraestructuras de saneamiento. Hay un riesgo de exposición a agentes biológicos o químicos allí donde el agua de la comunidad procede de un acuífero poco profundo. Esta contaminación se debe generalmente a la infiltración de estos agentes desde las letrinas, a la percolación de los vertederos de basuras o a la infiltración de las aguas residuales domésticas.

El riesgo de contaminación del agua subterránea por bacterias y virus depende de varios factores como son la composición mineral del suelo y su porosidad, el gradiente hidráulico, el contenido orgánico del suelo, el pH y las propiedades electrostáticas del suelo y a la lluvia. Sin embargo, los factores más importantes son el flujo subterráneo de agua y la persistencia de microorganismos en el entorno. Para asegurarse, se debe llevar a cabo un estudio piezométrico y/o un estudio con marcadores para saber con precisión las condiciones de flujo del agua subterránea. No es posible, a priori, determinar el patrón de propagación de la contaminación bacteriana.

Sin embargo, según las *Recomendaciones para la calidad del agua potable* (Vol. 3, OMS 1997), es posible establecer la distancia mínima entre letrinas y puntos de agua utilizando las siguientes recomendaciones:

– en un área no saturada, y por tanto en ausencia de flujo de agua subterránea, la migración de la contaminación es bastante reducida: apenas hay movimiento lateral de la contaminación y el movimiento vertical se limita a 3 m (Figura 19.1.A). Sin embargo, en caso de una infiltración masiva de agua superficial (p.ej. lluvia torrencial), el arrastre de la contaminación desde su punto de origen puede ser mayor;

– en un área saturada con flujo continuo de agua subterránea, para un caudal de 1-3 m/día, la contaminación se desplaza hasta 11m en la dirección del flujo de agua subterránea (Figura 19.1.B);

– en un área fracturada o kárstica, el flujo de agua subterránea es difícil de predecir, pero generalmente es muy rápido. Por tanto, la contaminación puede ser transportada a grandes distancias. Este fue el caso de un pozo rehabilitado por ACF en Myanmar en un terreno de micro-arenisca fracturada (bajo una capa fina), en la que se observó una correlación entre la lluvia torrencial y un pico de contaminación.

Sin embargo, no siempre es posible determinar la naturaleza exacta y las condiciones hidrológicas del subsuelo, así que se recomienda mantener una distancia de seguridad de 30 metros entre las letrinas y los puntos de agua. Si no se puede respetar esta distancia, véase la Sección 4.6 para otras opciones técnicas.

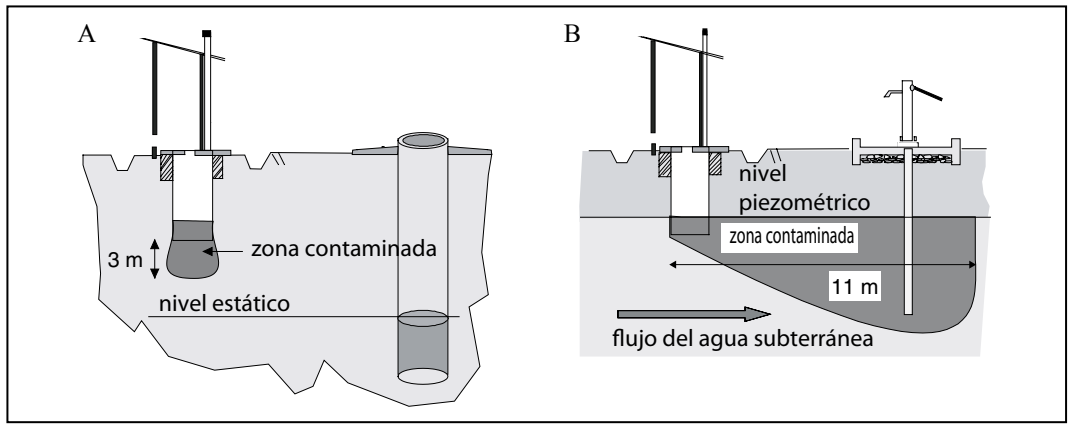


Figura 19.1: Migración de la contaminación bacteriana. A: zona no-saturada B: zona saturada

Cuadro 19.1
El suelo como agente filtrante y descontaminante.

El efluente que fluye a través de un suelo no saturado se descontamina por filtración, adsorción y procesos biológicos.

Los protozoos y los helmintos son detenidos rápidamente por la acción filtrante del suelo, debido a que sus tamaños son relativamente grandes si los comparamos con los poros del suelo. Las bacterias y los virus no son retenidos tan fácilmente por los suelos.

La Tabla 19.IV indica los tiempos de supervivencia de algunos organismos patógenos en diferentes ambientes y el Cuadro 19.5 (Sección 4.3.6) muestra tasas de infiltración en función de la naturaleza del suelo.

En el caso de las bacterias (p.ej. coliformes) tiene lugar un descenso muy acusado en los primeros 50 mm de suelo arenoso.

Los virus son demasiado pequeños para ser eliminados por filtración, sin embargo son capturados por adsorción sobre la superficie de las partículas del suelo, especialmente si el pH del suelo es bajo. La adsorción de virus y bacterias viene favorecida por suelos arcillosos, especialmente si el flujo del agua subterránea es bajo y el tiempo de contacto elevado.

Tabla 19.IV: Características epidemiológicas de patógenos en excrementos

Patógeno	Periodo de latencia	ID_{50} [a]	Tiempo de supervivencia de los patógenos:		
			Agua resid.	Suelo	Cosechas
Bacterias	0	$>10^4$	Desde pocos días hasta 3 meses		
Vibrio cholerae	0	10^8	~ 1 mes	< 3 semanas	< 5 días
Coliformes fecales	0	$\sim10^9$	~ 3 meses	< 2 meses	< 1 mes
Virus	0	desconocido	meses	meses	1-2meses
Enterovirus[b]	0	100	~ 3 meses	< 3 meses	< 2meses
Protozoos (cistos)	0	10-100	Desde pocos días hasta 3 meses		
Entamoeba spp.	0	10-100	25 días	< 3 meses	< 10 días
Helmintos[c]	variable	1-100	*meses*	*meses*	*meses*
Ancylostoma spp.	1 semana	1	3 meses	< 3 meses	< 1 mes
Ascaris spp.	10 días	Varios	~ 1 año	varios meses	< 3meses
Gusanos[d]	6-8 semanas	Varios	de por vida[e]	horas[e]	horas[e]

Fuente: Franceys, Pickford & Reed, 1992.
[a] ID_{50} es el número de organismos requeridos para desarrollar síntomas clínicos en el 50% de los individuos.
[b] Incluye polio virus.
[c] Huevos o larvas.
[d] No incluye Fasciola hepatica pero incluye Schistosoma spp.
[e] Fuera de un huésped acuático, el patógeno apenas sobrevive pocas horas. En el huésped vive hasta que éste muere.

4 ELIMINACIÓN DE EXCREMENTOS

Los sistemas de eliminación de excrementos se pueden clasificar según los siguientes criterios:

Lugar final de eliminación de excrementos

– En la misma parcela: el lugar de disposición para los excrementos está cerca del hogar, como letrinas y tanques sépticos.

– Fuera de la parcela: los excrementos se recogen en el hogar y se transportan a otro lugar para su tratamiento o vertido. El sistema del alcantarillado es el ejemplo más importante de este caso.

Necesidad de agua en el sistema

– Sistemas que no necesitan agua (secos): no requieren agua para su uso; incluyen letrinas de fosa simple, letrinas con mejoras en la ventilación (ventilated improved pit, VIP) y letrinas de compostaje.

– Sistemas que usan agua: los sistemas requieren agua para su funcionamiento; incluyen retretes en línea conectados a tanques sépticos o a sistemas de alcantarillado.

La selección de un sistema adecuado se basa en criterios técnicos, culturales, económicos e institucionales.

La sección siguiente expone en detalle las características tecnológicas de los sistemas de letrinas en la misma parcela para uso individual, comunitarias o retretes públicos.

Los retretes públicos se instalan generalmente en sitios públicos donde las personas están presentes de forma temporal u ocasional, tales como hospitales, centros de nutrición, escuelas o mercados. En estos lugares, los sistemas se gestionan por los responsables de cada sitio.

Los retretes comunitarios o individuales son necesarios para el saneamiento familiar. Los retretes individuales son la mejor solución, considerando que la aceptación y el mantenimiento del sistema será más fácil de asumir. En este caso, las letrinas comunitarias solo se llevan a cabo en casos concretos tales como en situaciones de emergencia o cuando hay problemas de construcción, por falta de tiempo o de materiales.

4.1 Defecación en áreas abiertas

Las personas defecan en áreas abiertas cuando no hay letrinas, o cuando éstas son insuficientes, o cuando por alguna razón no se usan. Estas áreas abiertas pueden ser sitios concretos reconocidos ampliamente por la comunidad como áreas de defecación, tales como vertederos de basuras o bajo árboles, y se pueden hallar dentro o fuera del perímetro en el que vive la comunidad.

En principio, se debería detener esta práctica por los riesgos que conlleva para la salud y el daño que provoca al medio ambiente. Sin embargo, si esto no es posible a corto plazo debido a la falta de motivación de la comunidad para construir letrinas, o por cualquier otro factor socio-cultural, siempre es posible mejorar la situación promoviendo hábitos higiénicos correctos tales como lavarse las manos, cubrir las heces con tierra y defecar a una distancia segura de los puntos de agua, de las casas y de otros lugares públicos.

Es importante aumentar la demanda de letrinas por parte de la comunidad introduciendo proyectos piloto. Por ejemplo, la introducción de un foso para una letrina, con la losa y la superestructura adaptada, puede ayudar a superar la resistencia de la comunidad a defecar dentro de un espacio cerrado y puede ser el primer paso para un proyecto de letrinas de mayor envergadura.

En situaciones de emergencia tales como campos de refugiados o de IDP, se pueden identificar algunos lugares como campos de defecación para dar una respuesta rápida inicial a una necesidad extremadamente urgente (ver Sección 4.7).

4.2 Letrinas que no necesitan agua (secas)

4.2.1 LETRINAS DE FOSO SIMPLE

El sistema más común de eliminación de excrementos en muchas partes del mundo es la letrina de foso simple (Figura 19.2). Este tipo de letrina es una forma simple, rápida y económica de recogida de excrementos. Se usa a menudo como el primer paso para la mejora del saneamiento ambiental.

Esta letrina consta de un foso, donde se acumulan los excrementos, cubierto por una losa y protegido por una superestructura. Se puede usar una tapa para cubrir el agujero de defecación de la losa y reducir por tanto los malos olores y la entrada de moscas al foso.

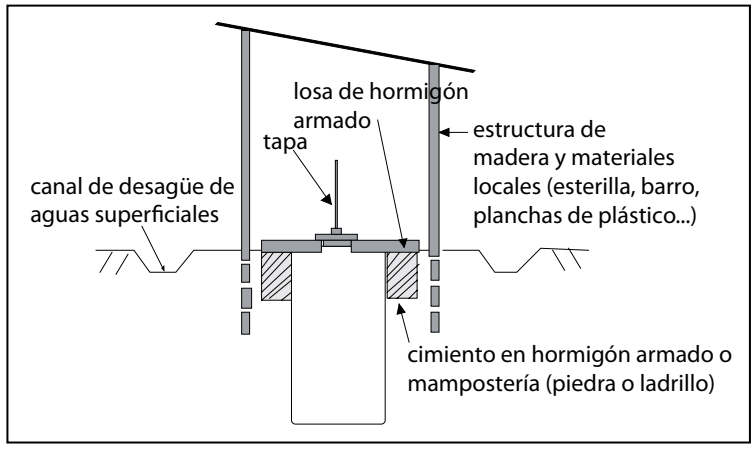


Figura 19.2: Letrina de foso simple.

4.2.2 LETRINAS DE FOSO MEJORADAS Y VENTILADAS (VIP, VENTILATED IMPROVED PIT)

La letrina VIP (Figura 19.3) es una versión mejorada de la letrina de foso simple y tiene las siguientes ventajas:

– reduce olores, lo que la hace más aceptada por la comunidad (si la letrina tiene un olor desagradable, la promoción para la construcción de más letrinas y su uso será difícil).

– permite el control de las moscas, que pueden ser un vector transmisor de enfermedades.

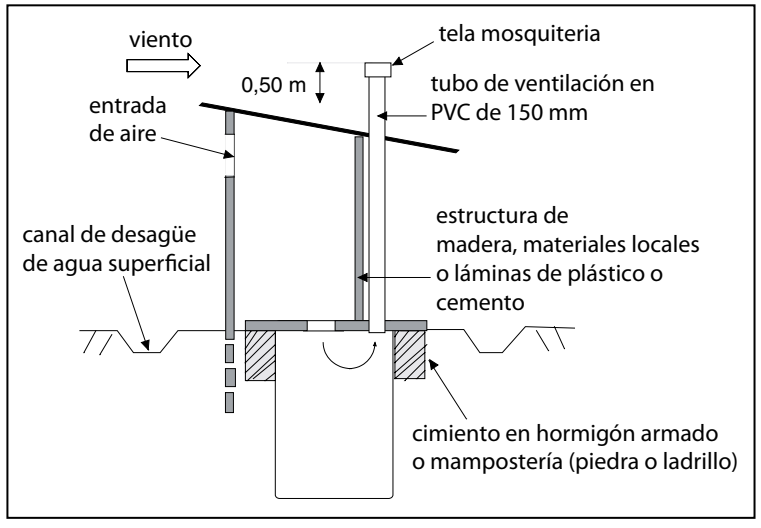


Fig. 19.3: Letrinas VIP.

La ventilación del foso se consigue con un tubo que va desde el foso hasta unos 50 cm por encima del techo de la letrina. Se acopla una tela mosquitera en la parte superior del tubo de modo que queden atrapadas las moscas que puedan haber entrado.

La circulación de aire se produce por el efecto venturi al soplar el viento a través del extremo superior del tubo. En tiempo cálido, el calentamiento del tubo de ventilación puede aumentar la circulación del aire. Esta circulación de aire desde el foso a través del tubo elimina también los malos olores.

Las moscas acuden al foso atraídas por el olor que emana el tubo de ventilación, pero no pueden entrar gracias a la tela mosquitera. Algunas entrarán al foso por el agujero de defecación y depositarán huevos. Las moscas que nazcan serán atraídas por la luz de la parte superior del tubo de ventilación si el interior de la superestructura se mantiene lo suficientemente a oscuras. Las moscas no pueden escapar gracias a la tela mosquitera, y acabarán muriendo.

La correcta construcción y el buen uso de la letrina son esenciales para que funcione eficientemente:

– La parte frontal de la letrina debe permitir la entrada de aire y el agujero de defecación del foso debe permanecer abierto.

– El interior de la superestructura debe permanecer a oscuras, por lo que la puerta debe permanecer cerrada, o, alternativamente, se construye una entrada indirecta que minimiza la entrada de luz (ver Sección 4.2.3.4). Es preferible esta solución, ya que los usuarios puede que no mantengan cerrada la puerta.

– El tubo de ventilación debe tener un diámetro de al menos 150 mm (6”) si el material es de superficie fina y de 230 mm (9”) si el material es de superficie rugosa, todo ello para facilitar el paso del aire y el movimiento de las moscas a la parte superior del tubo.

– El extremo final del tubo debe sobresalir al menos 50 cm sobre el techo y debe ser de color oscuro para que se caliente mejor por el sol. De ser posible, debe ser instalado para recibir insolación de forma directa.

– La letrina debe ser ubicada a sotavento de las viviendas, con el frontal de la letrina (donde se sitúa la puerta) de cara al viento predominante y el tubo de ventilación en la parte posterior.

4.2.3 CONSTRUCCIÓN

4.2.3.1 MATERIALES

La experiencia indica que para la construcción de letrinas es mejor usar los mismos materiales que se usan para las viviendas locales. Sin embargo, puede ser más conveniente rebajar la calidad de los materiales y poder alcanzar así una mayor cobertura. Se debe evitar la construcción de letrinas de una calidad superior a la de las viviendas locales, ya que esto muestra un nivel de calidad al que la comunidad no puede llegar y, por lo tanto, no fomenta la construcción de nuevas letrinas.

La introducción de materiales y métodos nuevos también se debe evitar en un programa de construcción de letrinas. Es más conveniente hacer uso de las habilidades y materiales locales ya que son mejor conocidos por la comunidad, y por tanto sabrán cómo mantenerlos. De esta manera, los detalles de la construcción y las técnicas, en especial para la superestructura, dependerán de los materiales usados por las comunidades en diferentes regiones, tales como madera, paja, hierba trenzada, bambú, o tierra.

4.2.3.2 EL FOSO

1) Dimensionamiento

Las dimensiones del foso dependen de varios parámetros tales como:

– número de usuarios;

– vida útil esperada de la letrina;

– método de limpieza del foso;

– tipo de foso (si está revestido o no);

– tipo de suelo (si es impermeable o no, rocoso o no);
– hábitos relativos a la limpieza anal; y
– riesgos de contaminación (nivel freático alto).

El volumen del foso se puede calcular usando la fórmula siguiente, teniendo en cuenta los factores indicados antes y de acuerdo con los objetivos de la letrina, tal como se indica en el Cuadro 19.2:

$$V = n \cdot r \cdot y$$

donde: V = volumen útil (m^3); n = número de usuarios; r = tasa de acumulación de sólidos (m^3/persona/año); y = vida útil del foso de la letrina (años).

Nota: se añade una profundidad de 0,5 m a la profundidad calculada para el foso, que se corresponde con el espacio libre por debajo de la losa.

Cuadro 19.2
Vida útil de las letrinas de foso simple

Para un funcionamiento adecuado de la letrina, en términos de higiene, tiempo de espera y privacidad, el número de usuarios por letrina no debe exceder los 20 (ó 50 en la fase inicial de una emergencia) conforme a los indicadores clave de SPHERE.

Desde un punto de vista técnico, la vida útil de las letrinas no debe ser inferior a 2 años, que es el tiempo mínimo requerido para la adecuada descomposición de los excrementos. Lo ideal sería que la vida útil fuera de unos 5 años, para que el uso de la letrina acabara siendo aceptado como parte de los hábitos de la comunidad, lo que ayudaría a garantizar su mantenimiento a largo plazo.

Cuando la vida útil de una letrina es superior a un año, se utiliza una tasa de acumulación de sólidos de 0,06 m^3/persona/año para las letrinas secas y de 0,04 m^3/persona/año para las letrinas que usan agua, considerando que los procesos de descomposición en éstas últimas son más eficientes que los que tienen lugar en las letrinas secas (Franceys et al., 1992). Estas tasas se multiplican por dos para letrinas cuya vida útil es inferior a un año (número elevado de usuarios por letrina, p.ej. en campamentos).

Las dimensiones finales del foso dependerán también de los hábitos de limpieza anal de la comunidad. Por ejemplo, el volumen del foso tendrá que ser ampliado en aquellas comunidades donde usan piedras.

Nota: el vaciado de un foso lleno es difícil o imposible en muchos contextos donde la comunidad rehúsa llevar a cabo esta actividad. En esta situación, un aumento del volumen del foso incrementará el tiempo de llenado y por tanto la vida de la letrina.

2) Diseño y construcción

El foso puede ser circular, rectangular o cuadrado. Los fosos circulares son más estables debido al efecto de bóveda del terreno alrededor del agujero, que distribuye uniformemente los esfuerzos alrededor del foso. Sin embargo, los fosos rectangulares o cuadrados son los que se construyen más a menudo por ser más fáciles de excavar que los circulares.

Los costados del foso pueden tener un revestimiento impermeable, permeable o no tener revestimiento alguno (Figura 19.4). Si es posible, allí donde el suelo esté bien consolidado y no haya riesgo de contaminación (ver Tabla 19.V), las paredes no deberían revestirse para facilitar así el drenaje de líquidos. Para revestir las paredes, los materiales más comúnmente utilizados son cemento o bloques de cemento, hormigón armado, piedras y bloques de barro estabilizado.

El diseño de letrina seleccionado finalmente dependerá de las características del contexto local. La Tabla 19.V resume varios casos:

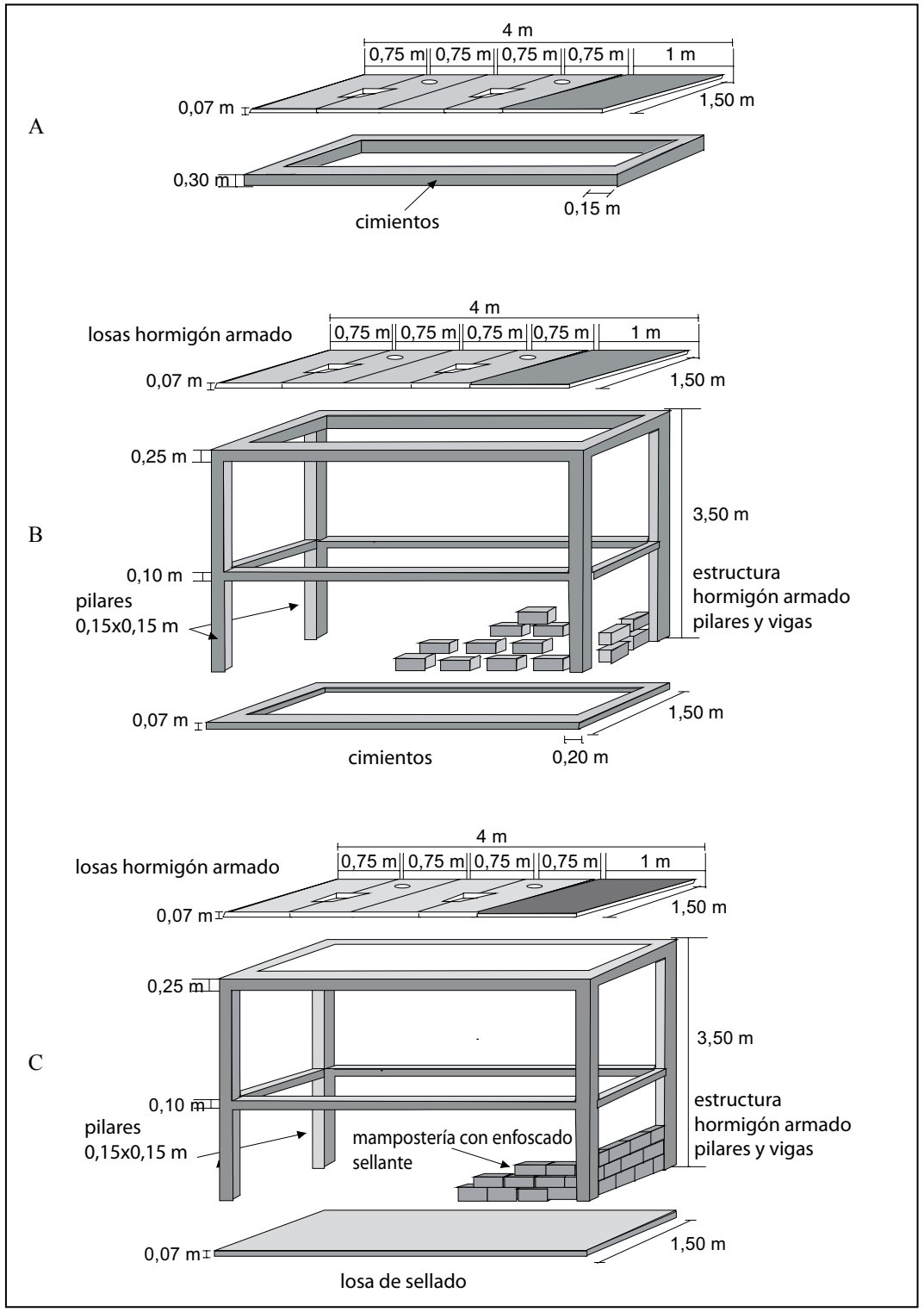


Figura 19.4: Foso y cimentación de una letrina doble. A: losa sobre cimentación simple, foso sin revestir B: losa sobre foso revesti-do con mampostería. C: losa sobre foso estanco.

Tabla 19.V: Tipo de foso según el contexto.

Tipo de foso recomendado	Contexto
Letrina con revestimiento impermeable	Se explota una fuente de agua dentro de un perímetro de 30 m alrededor de las letrinas, o en un terreno muy permeable (arena, grava, entorno rocoso fracturado), p.ej. la contaminación puede extenderse 30 m más allá de la letrina; en este caso el foso requerirá vaciados frecuentes (Sec 4.2.4)
Letrina con revestimiento permeable (mampostería)	Suelo suelto o poco consistente, sin riesgo de contaminación
Letrina con foso sin revestimiento	Suelo estable, sin riesgo de contaminación del acuífero

Cuestiones técnicas a considerar:

– Si la construcción se diseña para durar más de 5 años se recomienda construir un foso permeable reforzado o una fosa séptica y un pozo ciego.

– La introducción de un foso permeable aumenta significativamente la vida operativa de la letrina debido al incremento de la infiltración y de la actividad biológica. Si el foso es impermeable, es esencial contar con un sistema para tratar el efluente.

– Siempre es conveniente construir algún tipo de protección en los 300-500 mm superiores del foso para que sirvan de precinto contra la infiltración de agua y de soporte para la losa.

– A veces, el foso se puede proteger fácil y rápidamente usando los moldes para anillos de hormigón que se usan en la construcción de pozos excavados a mano.

4.2.3.3 LA LOSA

La losa de la letrina tiene dos funciones principales: cubre el foso y soporta el peso de los usuarios, y en algunos casos, la superestructura.

1) Características generales:

La losa de la letrina debe ser de superficie lisa, impermeable y fácil de limpiar.

La losa o el suelo del interior deben ser lo suficientemente amplios para que los usuarios se sientan confortables. Las dimensiones entre paredes son generalmente de al menos 80 cm de ancho y 100 cm de largo, de modo que los usuarios no toquen las paredes mientras estén dentro de la letrina.

2) Diseño y construcción

Las losas de las letrinas se apoyan directamente sobre el suelo o sobre el revestimiento del foso. Un diseño correcto permitirá el apoyo seguro de la losa y la mantendrá elevada al menos 150 mm sobre el suelo para evitar la entrada de agua superficial.

Las losas tienen formas cuadradas, rectangulares o circulares. Sufren diferentes compresiones y fuerzas de tensión, dependiendo de su forma, y esto puede influir en los materiales y técnicas usadas en la construcción.

Las losas se pueden construir con materiales tradicionales tales como madera (Figura 19.23, en la Sección 4.7.2) o con hormigón. Losas prefabricadas de plástico o metálicas también son útiles, especialmente en intervenciones de emergencia (ver Sección 4.7).

Las losas de hormigón son una solución a largo plazo para cubrir el foso de la letrina, pero pueden ser adaptadas a intervenciones a corto plazo, al ser fáciles de fabricar y transportar, y además el cemento está disponible en muchos sitios a precios bajos. Son útiles también por que se pueden montar con todo tipo de materiales y hacer un sellado impermeable.

Hay dos tipos de losas de hormigón: losas de hormigón armado (Tabla 19.VI, Figuras 19.5 y 19.6) y losas de hormigón no reforzado (Figuras 19.7 y 19.8).

Para tener una idea general de las técnicas de construcción e información específica sobre la forma de usar el hormigón, véase el Anexo 14.

Losa de hormigón armado

Hay dos modelos; de una o de dos piezas (que es más fácil de transportar).

Nota: El agujero en el que se instala el tubo de ventilación se puede hacer usando un trozo de tubo que se quita algunas horas después de verter el hormigón.

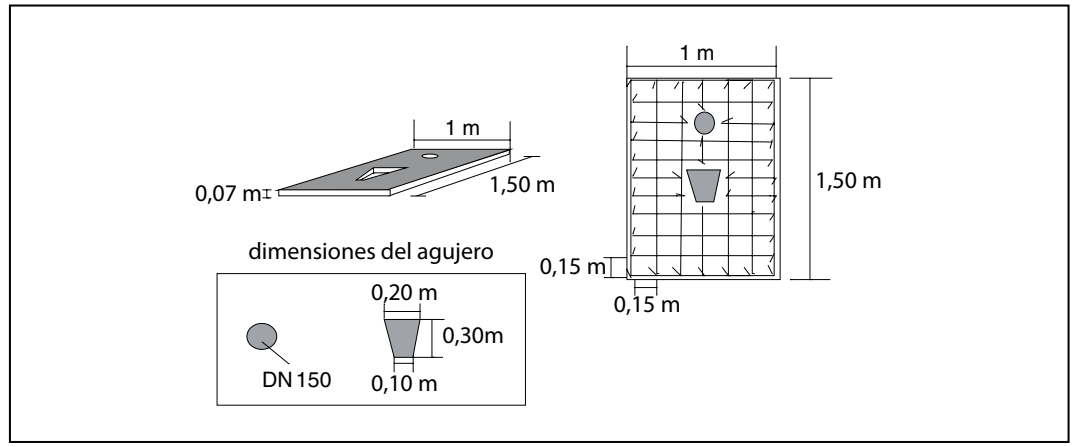


Figura 19.5: Refuerzo para una losa simple.

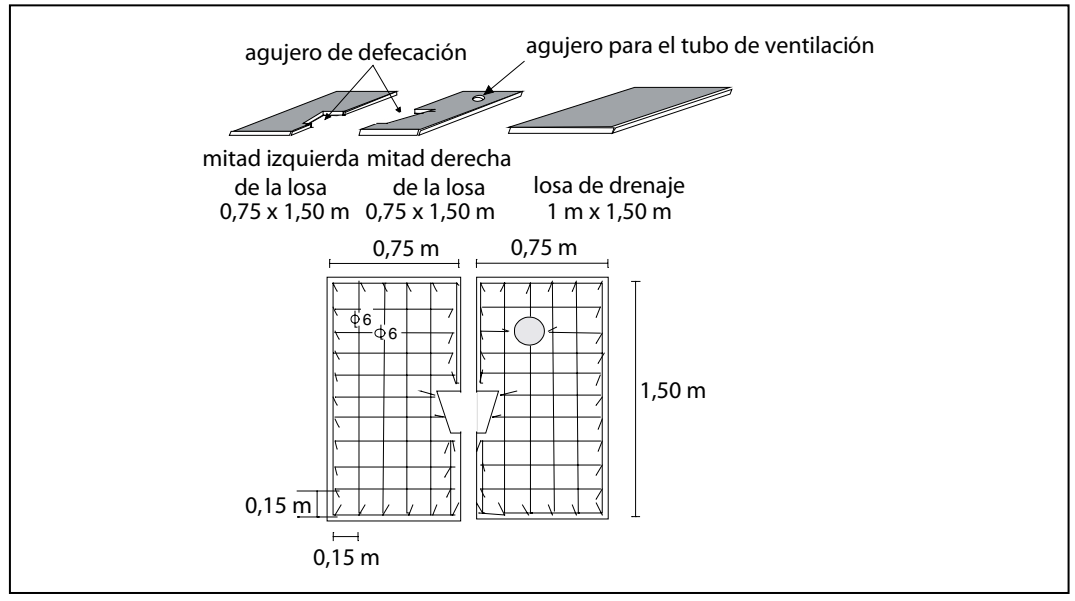


Figura 19.6: Refuerzo para una losa simétrica de dos piezas.

Tabla 19.VI: Características de las losas para letrinas

Tipo de losa	Anchura (m)	Longitud (m)	Espesor (cm)	Sacos de cemento 50 kg	Acero 6mm (m)	Peso (kg)
Losa 2 piezas (1/2 pieza)	0,75	1,5	7	½	21	210
Losa de 1 pieza o losa extraíble	1	1,5	7	¾	26	275

Losa de hormigón no reforzado

Las losas de hormigón no reforzado no requieren acero para su refuerzo, por lo que son más baratas.

El mejor diseño de losa no reforzada es la losa abovedada como se muestra en la Figura 19.7. La forma de esta losa implica que la parte inferior permanece bajo compresión, fuerza que el hormigón resiste mejor que la tensión. La mezcla de hormigón usada para este tipo de losa contiene más cemento de lo normal. Las proporciones deben ser: 1 parte de cemento, 2 partes de arena y 1,5 partes de grava (6-10 mm). Se usan dos diseños, uno circular (Figura 19.7) y otro rectangular (Figura 19.8). Las losas no reforzadas son más frágiles que las reforzadas, y más difíciles de transportar, especialmente las circulares.

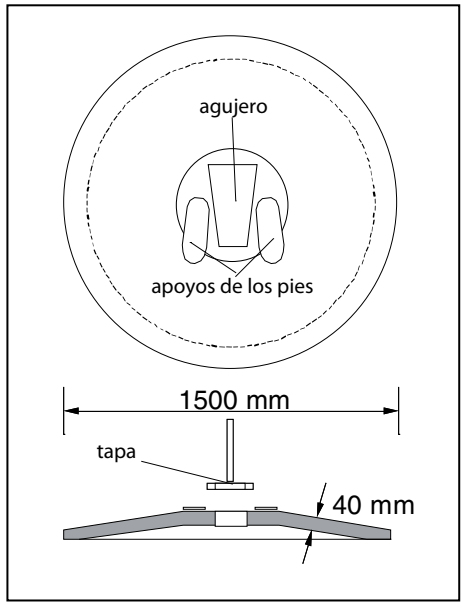


Figura 19.7: Losa redonda abovedada.

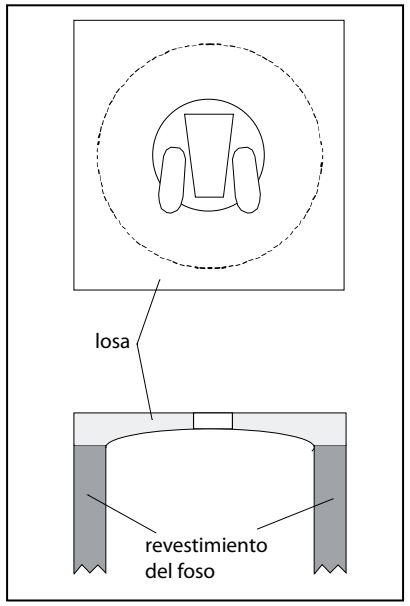


Figura 19.8: Losa rectangular abovedada.

Nota: la losa de hormigón no reforzada no incluye un segundo agujero para insertar el tubo de ventilación (tipo VIP), de modo que el diseño debe prever la tapa del agujero de defecación para el control de moscas y olores.

4.2.3.4 SUPERESTRUCTURA

El propósito de la superestructura es proporcionar privacidad y un entorno aceptable para el usuario.

La superestructura puede ser de varias formas (rectangular, circular, espiral, etc.), y sus características dependerán de las costumbres de construcción locales, del diseño de la letrina y de su duración programada. Muchos proyectos de saneamiento dejan que el usuario diseñe y construya la superestructura. El diseño se debe definir con los usuarios y dependerá de sus capacidades de construcción (factores que incluyen dinero, tiempo, materiales, etc.).

Desde un punto de vista técnico, hay pocos detalles técnicos a considerar: el techo proporcionará privacidad y protección contra la lluvia, y la puerta es un factor importante para la privacidad y seguridad (con la posibilidad de poner cerrojo). La superestructura de la letrina VIP debe garantizar además la oscuridad dentro de la superestructura y la entrada de aire.

Modelos especiales

Estructuras en forma de espiral

Aunque estas superestructuras (Figura 19.9) no tienen puertas, el interior se mantiene parcialmente oscuro, lo que es una ventaja para las letrinas VIP y también reduce el riesgo de transmisión fecal-oral por el contacto de las manos con las puertas. Este modelo es útil para letrinas públicas VIP, por ejemplo, en escuelas donde es difícil que los niños mantengan cerradas las puertas. El inconveniente es que permite acceder libremente a niños pequeños y animales, y la comunidad debe mantenerse alerta a estos efectos. La forma de espiral puede requerir más materiales para las paredes que un diseño más simple, pero el ahorro en el coste de una puerta suele ser superior al material adicional requerido para esta estructura.

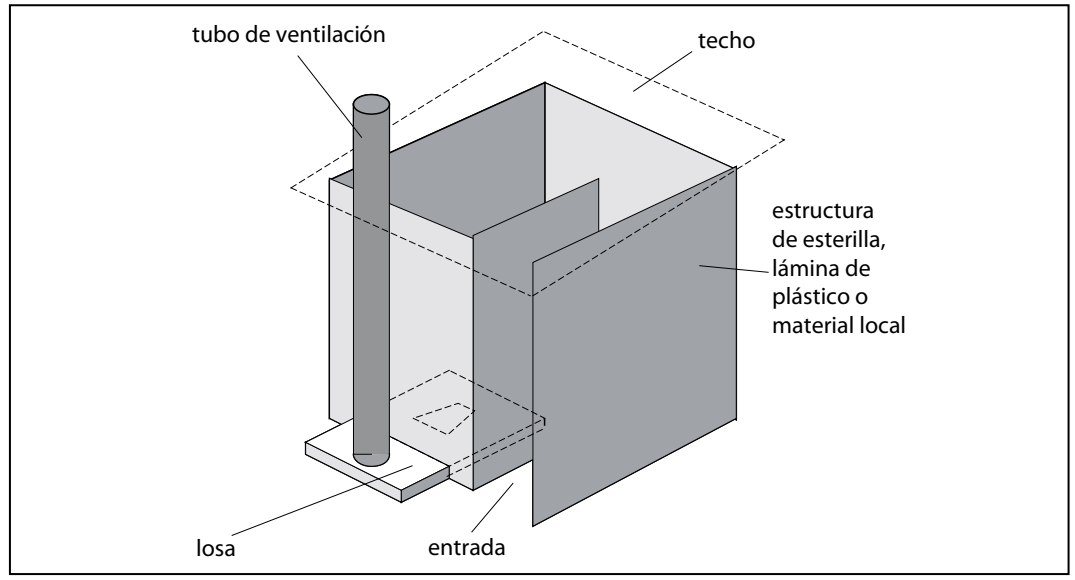


Figura 19.9: Superestructura con forma espiral.

Estructuras reutilizables

La estructura transportable es adecuada cuando no hay limitaciones de espacio y cuando la comunidad es independiente y está motivada para la construcción de letrinas. Cuando el foso se llena, el propietario simplemente tiene que excavar un nuevo foso y reinstalar la vieja superestructura (inclusive la losa).

Cuadro 19.3
Guatemala, Jutiapa 1999. Construcción de letrinas ventiladas con estructuras reutilizables.

Las letrinas se construyeron para las comunidades afectadas por el huracán Mitch. El modelo de letrina ventilada escogido permitía el transporte de toda la estructura, incluyendo la losa, el tubo de ventilación y la superestructura. Esto permitió manejar el problema de llenado de fosos. La superestructura se fijó con metal soldado o con un armazón de madera para facilitar su reutilización.

Figura 1: Transporte de la letrina.

Figura 2: Soporte de la losa y foso.

4.2.4 USO Y MANTENIMIENTO

El mantenimiento diario se limita a la limpieza de la losa y de la superestructura. En las letrinas de losa simple, el agujero necesita cubrirse siempre que la letrina no esté en uso. En las letrinas VIP, la puerta debe mantenerse cerrada, la tela mosquitera en el extremo superior del tubo de ventilación necesita ser inspeccionada por si tiene agujeros y se debe verter agua por el tubo de ventilación al menos una vez al año para eliminar telas de araña.

El vaciado del foso es generalmente una tarea difícil de asumir por los usuarios, a menudo por razones culturales, pero también por los riesgos para la salud que supone cuando no se lleva a cabo por personal especializado, con la capacitación adecuada y el equipo protector correspondiente.

El ciclo de llenado y vaciado de una letrina depende del tamaño y del tipo de foso, del número de usuarios, del ritmo de descomposición y de la naturaleza del suelo. Normalmente los fosos deben dimensionarse para que se vacíen cada 4 ó 6 años, lo que permite la descomposición adecuada de los excrementos.

El vaciado de fosos que contienen excrementos recientes presenta problemas significativos debido a la presencia de patógenos activos en el lodo. El problema se gestiona de forma diferente en áreas rurales y urbanas:

– *En áreas rurales*, donde hay mucho terreno, se aconseja excavar otro foso para una letrina nueva. El foso original se puede cubrir y los excrementos enterrados no causarán riesgo alguno para la salud. Tras un período de 2 años, los excrementos ya no presentan ningún riesgo para la salud y el foso puede ser vaciado y reutilizado, y los excrementos pueden usarse como abono (Sec. 4.5).

– Sin embargo, *en áreas urbanas*, donde no hay espacio para excavar nuevos fosos, es preferible el sistema de foso doble, en el que dos fosos más pequeños se usan alternativamente. Otra solución, si no hay riesgos de contaminación del agua, consiste en construir fosos muy profundos, lo cual aumenta significativamente la vida de la letrina.

Nota: El vaciado manual de los fosos se debe evitar, o se debe llevar a cabo con la protección adecuada para los operarios, para minimizar el riesgo de contagio por patógenos existentes en la heces recientes.

También es posible vaciar los fosos usando bombas de eliminación de lodos (hay que tener en cuenta que las bombas de membrana son más adecuadas que las de barro o de desagüe) y un tanque para transportar el lodo a un lugar adecuado para su vertido. Es importante que el lodo se mantenga en estado líquido (puede ser conveniente añadir agua y remover) y que se evite la presencia de plásticos, madera, piedras u otros elementos sólidos. Es importante que la comunidad sea consciente de este mensaje para evitar que se echen estos materiales a los fosos de las letrinas.

El lodo que se extrae de los fosos de las letrinas está cargado de patógenos y por tanto, el lugar para su vertido se debe escoger cuidadosamente. Debe estar alejado de la comunidad e identificado como un lugar para el desarrollo de las actividades de saneamiento, como puede ser un vertedero o un lugar para el tratamiento de aguas residuales.

4.3 Letrinas con sello hidráulico

4.3.1 EL PRINCIPIO

La letrina con sello hidráulico es el sistema más efectivo para evitar malos olores y la proliferación de moscas y mosquitos, al mantener el foso aislado del exterior. Esta letrina dispone de un sello hidráulico al extremo del retrete (taza) en el que se depositan los excrementos. El sello permanece lleno de agua y garantiza el aislamiento del foso.

Este sistema requiere agua de forma permanente, tanto para limpiar la taza como para mantener activo el sello (entre 1,5 y 2 litros como mínimo en cada vaciado). Por ello, esta solución solo será posible allí donde el suministro de agua esté garantizado.

4.3.2 CONSTRUCCIÓN

La diferencia principal entre letrinas secas y húmedas es el uso de agua y el sello hidráulico, así como su conexión a los fosos. Por esta razón, se estudian a continuación y con más detalle sólo estos aspectos de las letrinas húmedas.

El sello hidráulico (Figura 19.10): en muchos países es posible encontrar la taza y el sello a precios razonables. Se pueden fabricar con muchas clases de materiales como plásticos, plexiglás, polietileno de alta densidad (HDPE) o cerámica. Es posible también fabricarlos con cemento usando un molde, en caso de que no se puedan encontrar los materiales anteriores en el mercado local.

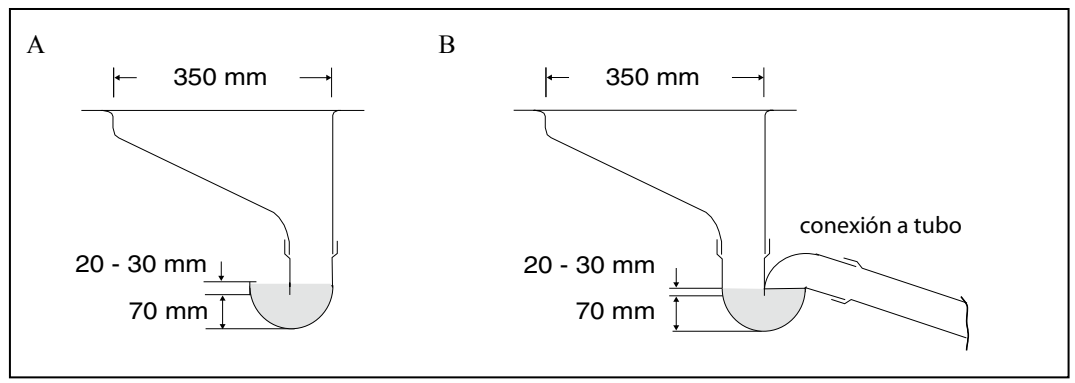


Figura 19.10: Sello hidráulico. A: Colocado sobre el foso; B: colocado al lado del foso.

El uso de agua es un factor importante a la hora de diseñar un foso puesto que aumenta el volumen del material que entra en el foso. Si el suelo es permeable, es posible construir un foso simple y permeable o, incluso mejor, una fosa séptica, desde donde el efluente se infiltra al suelo. Es necesario tener cuidado para no contaminar puntos de agua cercanos (ver Sección 3.5). Cuando el suelo sea menos permeable, el foso se llenará más pronto y por tanto será necesario planear y organizar el vaciado del foso o la construcción de uno nuevo.

La superestructura se puede construir encima del foso (Figura 19.11.A), o también se puede situar la taza al lado del foso, de tal manera que los excrementos sean transportados con agua a través de un tubo de conexión (Figura 19.11.B). Esto es una ventaja porque permite que el retrete pueda situarse dentro de casa y el foso fuera, y así la letrina dura más (cuando el foso se llena, basta con cavar un foso nuevo en las inmediaciones y volver a conectarlo con la taza.)

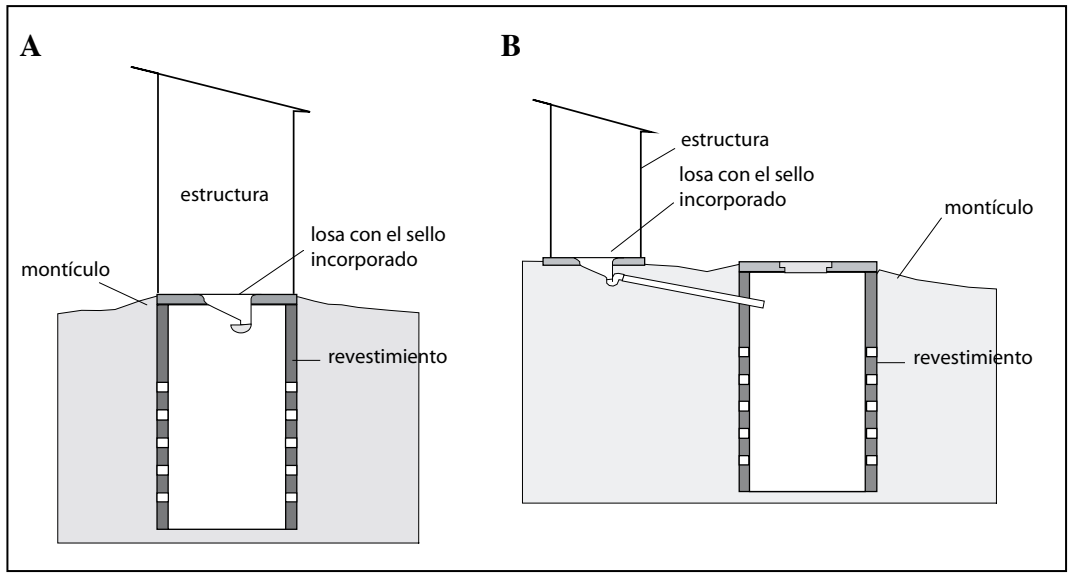


Figura 19.11: Letrinas con sello hidráulico. A: Sello encima del foso. B: Sello apartado del foso.

Cuando el foso se encuentra alejado de la superestructura (Figura 19.11 B), se necesita más agua para transportar los excrementos y puede haber obstrucciones con mayor frecuencia.

El diámetro de los tubos o canales debe ser de al menos 75 mm y los tubos deben colocarse en línea recta, ya que los codos o curvas pueden causar fácilmente obstrucciones del flujo. Los tubos más baratos que se pueden usar en este sistema son las tuberías de drenaje que no soportan presión alguna. La pendiente mínima debe ser de 1/30 para tubos o canales de superficie fina o 1/15 para los de superficie rugosa.

Nota: en áreas que tienen estación seca, durante la cual el agua escasea, es posible el diseño de letrinas sobre fosos (Figura 19.11 A) de modo que el sello hidráulico se pueda quitar e instalar un tubo de ventilación durante la estación seca, creando así una letrina VIP.

4.3.3 FOSA SÉPTICA

4.3.3.1 EL PRINCIPIO Y SUS LIMITACIONES

La fosa séptica es un tanque subterráneo impermeable que recoge aguas residuales ("aguas negras" de los retretes /o "aguas grises" de la cocina, el lavadero o el baño). Es la solución óptima para los retretes que funcionan con agua (Figura 19.12).

La fosa séptica tiene dos cámaras que se llenan con agua residual a través de un tubo o canal, o bien cae directamente desde el sello hidráulico de la letrina. El agua residual se separa en lodo, líquido y espuma dentro de la fosa séptica, de forma que el efluente sufre varias transformaciones químicas y físicas antes de que una parte del mismo salga del tanque subterráneo.

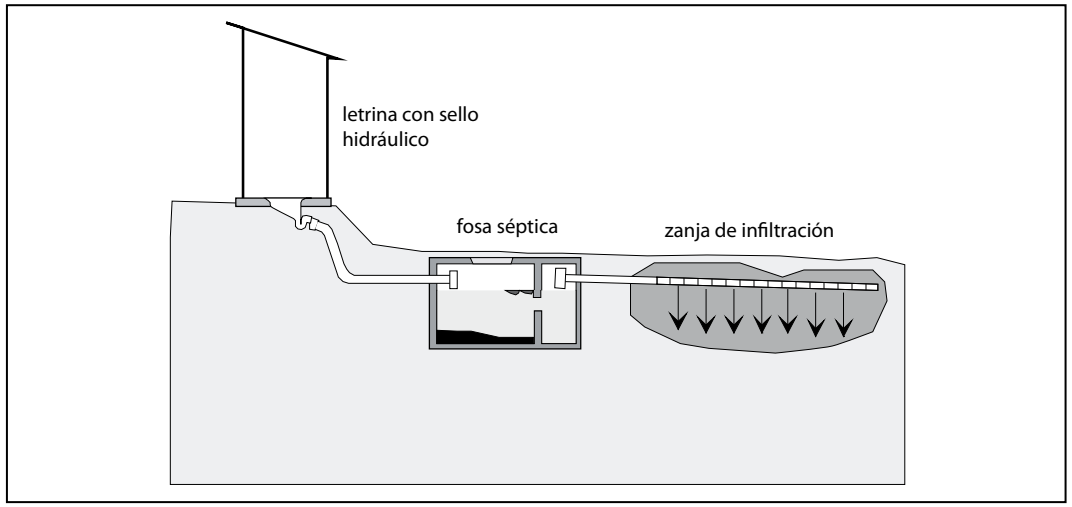


Figura 19.12: Vista general de un retrete con agua, fosa séptica y sistema de infiltración.

La fosa séptica se divide en dos cámaras, separadas por una pared divisoria perforada o un deflector (Figura 19.13).

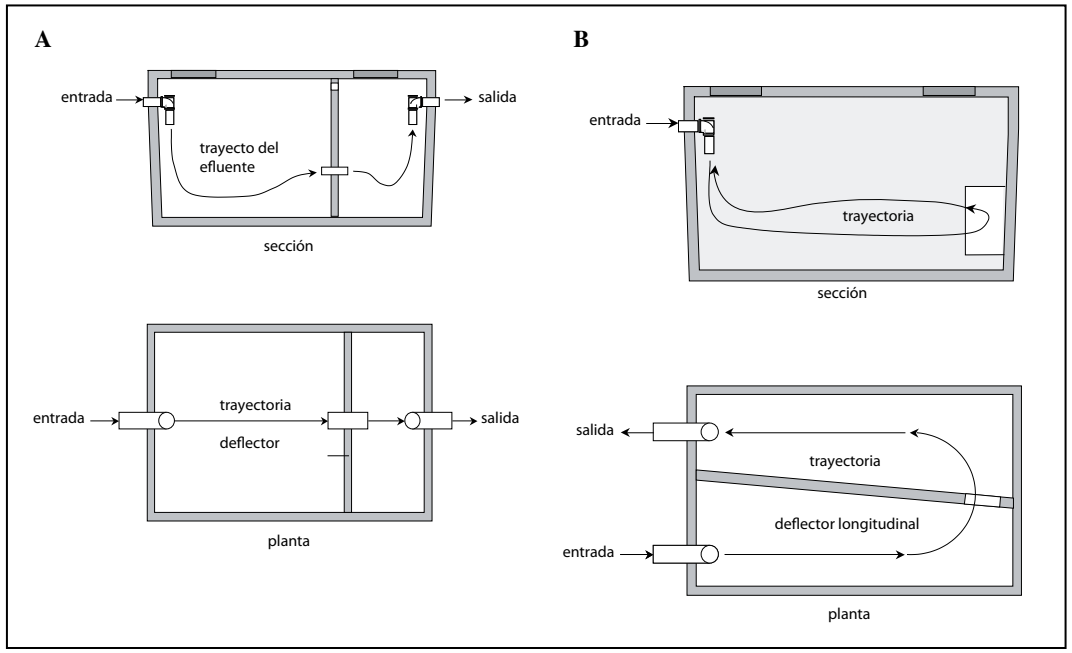


Figura 19.13: Modelo de circulación de líquidos en una fosa séptica (adaptado de Crites & Tchobanoglous, 1998).
A: deflector interior colocado a través del tanque.
B: deflector interior colocado longitudinalmente.

La primera cámara es la más grande y es donde llega el agua residual y tiene lugar la sedimentación y compactación de los sólidos. A menudo se forma una capa espesa de suciedad en la superficie del líquido, debido a la presencia de grasas, aceites, jabones, detergentes y otros productos químicos. En algunos casos es preferible instalar una trampa de grasas antes del tanque para reducir la cantidad de productos que llegan a la fosa séptica. En esta cámara tienen lugar procesos anaeróbicos en los que las bacterias descomponen la materia orgánica en el agua residual produciendo metano y anhídrido carbónico. La temperatura ideal para este proceso es de 35ºC. Es importante asegurarse de que el agua residual no lleva pesticidas, agentes antisépticos o cloro que impiden que estos procesos de digestión se lleven a cabo.

La segunda cámara está conectada con la primera de modo que sólo hay movimientos de líquidos entre las dos cámaras. El proceso de descomposición y la producción de gases continúan. Esta cámara tiene una salida para la evacuación de líquido del tanque. Es común la instalación de un codo o una T a la salida, para asegurarse de que el efluente procede de debajo de la capa de suciedad y no contiene grasa alguna.

El efluente líquido saldrá del tanque tras un tiempo de retención de 1 a 3 días generalmente, permitiendo la eliminación de hasta el 80% de la materia suspendida.

Hay tres destinos posibles para el efluente:

– tratamiento adicional, conectándolo directamente a una red de alcantarillado;

– infiltración a través del suelo (ver Sección 4.3.6);

– volver a usarse para actividades agrícolas.

Las fosas sépticas requieren determinadas condiciones para funcionar de forma adecuada, por lo que el tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante una fosa séptica podrá considerarse si:

– hay suficiente agua disponible en todo momento para arrastrar los excrementos desde la taza hasta el tanque (>40 l/per/día para todos los usos WELL/WEDC 1998);

– no afecta a los usos prioritarios del agua, tales como beber, cocinar, higiene personal, regadío de la huerta;

– el suelo permite el tratamiento terciario por infiltración y no hay riesgo de contaminación de las aguas subterráneas;

– hay suficiente terreno disponible para que cada familia disponga de un sistema (unos 8 m^2 para el tanque y sobre 30 m^2 para el sistema de infiltración);

– existe un vertedero para la disposición de lodos (privado o público) y los usuarios pueden permitirse el coste del servicio.

Las fosas sépticas son particularmente adecuadas cuando el lavado anal con agua es un hábito cultural.

4.3.3.2 DISEÑO DE UNA FOSA SÉPTICA (ADAPT. DE FRANCEYS, PICKFORD & REED, 1992)

La eficiencia de una fosa, y su diseño, dependen del tiempo de retención del agua residual en el tanque, del sistema de entrada, del sistema de evacuación del agua y de la frecuencia de vaciado de los lodos del tanque.

El volumen del tanque se puede calcular con la siguiente fórmula (asumiendo que el tiempo de retención del agua residual es de 1 día): $\mathbf{V = A + B\ litros}$

donde A es el volumen necesario para la retención de líquido y B es el volumen necesario para la acumulación de lodo y suciedad.

– *Si se escoge un tiempo de retención de 24 horas, entonces:* $\boldsymbol{A = P \times q\ litros}$

– donde: P = número de personas que usan la fosa séptica, q = 90% del agua diaria usada por persona (litros), si la fosa recibe aguas negras y aguas grises, o q = estimación del agua requerida para arrastrar las heces en la taza, el número promedio de usuarios y el número promedio de vaciados por día de cada usuario, si se asume que la fosa sólo recibirá aguas negras.

– *El volumen de lodo y suciedad (B) es:* $\boldsymbol{B = P \times N \times F \times S}$

– donde*: P* = número de personas que usan la fosa séptica, N = número de años entre vaciado de lodos, F = factor de diseño (ver Tabla 19.VII), S = tasa de acumulación de lodo y suciedad (en litros por persona por año, p.ej. 25 litros por persona por año para sólo aguas negras)

Las siguientes reglas se usan para determinar la forma de la fosa:

– La profundidad debe ser de al menos 1,80 m, con la salida de al menos a 0,3 m por debajo de la losa que la cubre.

– La anchura debe ser de al menos 0,60 m, por ser este el espacio mínimo de trabajo de una persona (excavando o limpiando la fosa). Algunos códigos y prácticas recomiendan que la longitud sea de 2 a 3veces la anchura.

– En una fosa de anchura X, la longitud del primer compartimiento debe ser 2X y la del segundo compartimiento debe ser X (Figura 19.14). Normalmente, la profundidad no excede la longitud total.

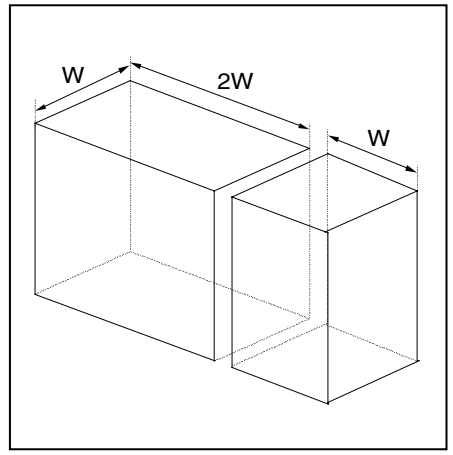


Figura 19.14: Diseño de una fosa séptica.

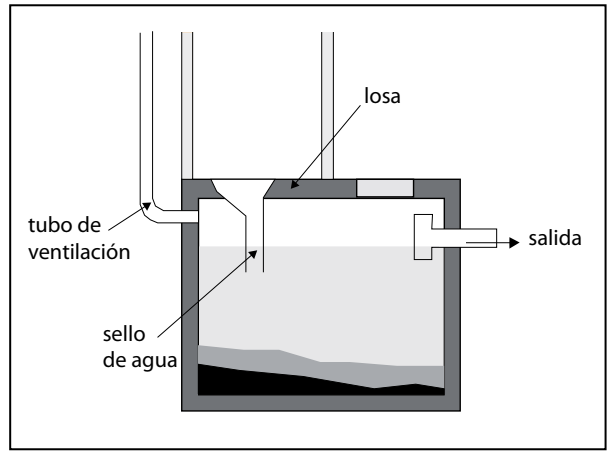


Figura 19.15: Aqua-Privy (excusado).

Tabla 19.VII: Valores del factor F de diseño de una fosa séptica.

Nº de años entre vaciado de lodos	Valores de F Temperatura ambiente >20ºC	>10ºC	<10ºC en invierno
1	1,3	1,5	2,5
2	1,0	1,15	1,5
3	1,0	1,0	1,27
4	1,0	1,0	1,15
5	1,0	1,0	1,06
6 ó más	1,0	1,0	1,0

4.3.4 AQUA-PRIVY

Es una variante de la fosa séptica que consta de una única cámara. Se compone de un tanque impermeable situado inmediatamente debajo de la letrina (Figura 19.15). Los excrementos caen directamente en el tanque a través de un tubo con el extremo sumergido en el líquido del tanque, formando así un sello hidráulico que impide que se escapen las moscas y mosquitos, al tiempo que evita malos olores. El nivel del líquido en la cámara debe mantenerse estable para que tenga lugar la digestión anaeróbica. El tanque funciona de modo similar a una fosa séptica. El efluente procedente del tanque normalmente se infiltra a través del terreno por medio de un pozo ciego.

La extracción regular del lodo del tanque es esencial para su correcto funcionamiento. A estos efectos, se debe poder levantar la losa que tapa el tanque. En algunos casos, la instalación de un tubo de ventilación, cubierto con una tela mosquitera, es recomendable para evacuar gases y minimizar olores. El tanque debería tener un volumen de al menos 1 m^3 evitando así toda turbulencia que impediría la sedimentación del lodo.

4.3.5 USO Y MANTENIMIENTO

Las letrinas con sello hidráulico necesitan el mismo mantenimiento diario que las letrinas sin agua. Consiste en la limpieza de la superestructura, la losa y la taza. El sello hidráulico debe mantenerse constantemente con agua para que cumpla correctamente su función.

Las fosas sépticas deben ser vaciadas de forma regular para que puedan funcionar correctamente. Se deben vaciar cuando el nivel de sólidos se aproxime a la parte inferior de la conexión con la segunda cámara. Si no se extraen los sólidos hacia el final del período de diseño, la cantidad de sólidos hará decrecer el volumen disponible para poder retener el agua residual el tiempo suficiente para que permita una adecuada sedimentación, flotación y estabilización.

La fosa séptica se vacía mediante una cisterna que haga el vacío o con una bomba de lodos conectada a una cisterna de depuración. El lodo, que está contaminado con patógenos, debe tratarse en una planta de tratamiento de residuos o verterse en un sitio específico aislado de la comunidad.

Nota: al vaciar una fosa de lodos es conveniente dejar una capa de lodo en el fondo del tanque para que propicie el reinicio de la descomposición biológica.

4.3.6 VERTIDO DEL EFLUENTE DE UNA FOSA SÉPTICA

Una fosa séptica es simplemente una combinación de un tanque de retención y una cámara de digestión anaeróbica. La salida del tanque es esencialmente igual a la entrada (excepto por pérdidas menores producidas con la extracción de sólidos, filtración y evaporación, aunque esto no es muy significativo). Aunque la eficiencia de la eliminación de sólidos en suspensión sea buena, el efluente seguirá teniendo alta concentración de patógenos y será necesario verterlo de forma segura.

El efluente se puede desechar por:

– infiltración directa a través del suelo, con descarga en pozos ciegos (Figura 19.16) o zanjas;

– reciclado para usos agrícolas (Cuadro 19.4) tras un proceso de tratamiento para regeneración;

– un sistema de alcantarillado que recoge y trata el efluente, allí donde la infiltración no sea efectiva o donde haya peligro de contaminación de aguas subterráneas.

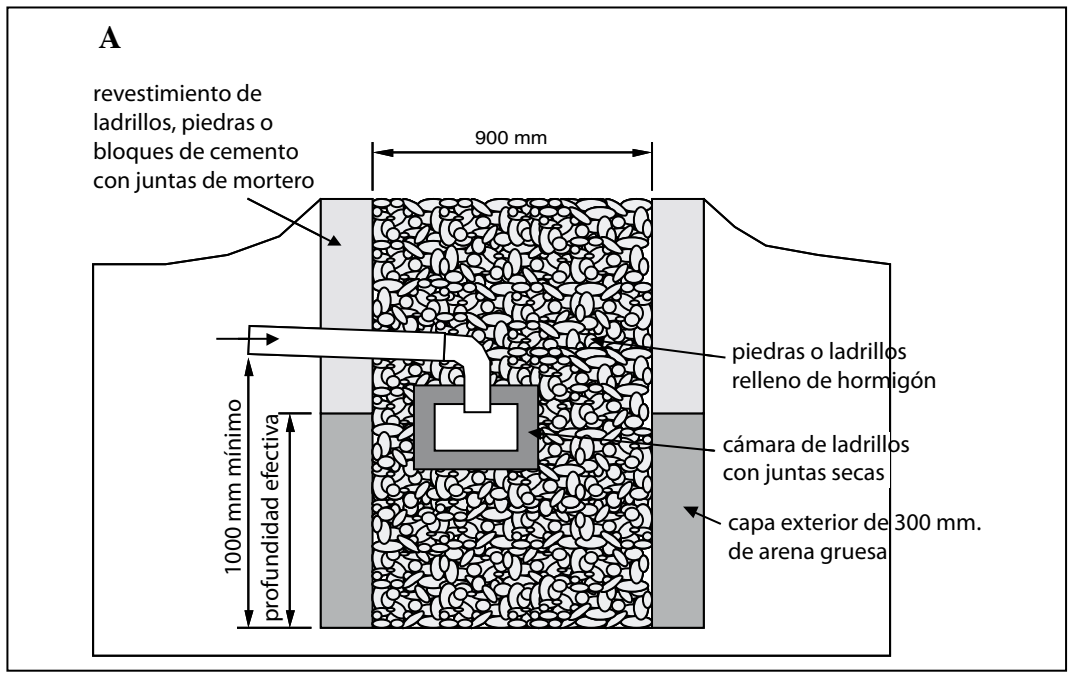


Figura 19.16: Pozos ciegos. A: Sin revestimiento.

Cuadro 19.4
Reutilización del efluente

El agua residual es demasiado valiosa para ser desechada en zonas áridas y semiáridas y puede ser reutilizada en agricultura (o piscifactorías).

El uso de agua residual para el regadío mejora la producción al suministrar humedad y nutrientes (nitrógeno y fósforo principalmente) que son beneficiosos para las plantas.

Sin embargo, el agua residual debe ser tratada para eliminar o, al menos, reducir el nivel de contaminación de patógenos que puedan ser peligrosos para la salud humana. La OMS recomienda que para el regadío, el agua residual utilizada no contenga más de un huevo de nematodo por litro y no más de 1 000 coliformes fecales por 100 ml., excepto para aquellas hortalizas que se comen crudas, que no se deben regar con agua residual.

Los pozos ciegos constituyen un método común para la evacuación del efluente de las fosas sépticas en casas individuales. Generalmente tienen de 2 a 5 m de profundidad, con un diámetro de 1 a 2,5 m. El volumen debe ser al menos igual al de la fosa séptica. La cubierta se puede hacer de hormigón armado y se puede enterrar 200 – 300 mm para evitar la entrada de insectos.

El área requerida para la infiltración se debe calcular usando los datos de infiltración para diferentes tipos de suelos y el caudal de agua a tratar (Cuadro 19.5).

– *Pozos sin revestimiento* (Figura 19.16.A). Se rellenan con piedras o ladrillos rotos de un tamaño superior a 50mm. Si la mayor parte del foso está rellenado, los 50 cm de la parte superior deben tener un anillo de protección hecho con bloques, ladrillos u hormigón armado para que se pueda apoyar la losa de recubrimiento. Este anillo puede tener forma abovedada para reducir el tamaño de la cubierta.

– *Pozos revestidos* (Figura 19.16.B). Se construyen generalmente con ladrillos, bloques o moldes de hormigón, como los fosos de las letrinas, y se puede incrementar la capacidad de infiltración rellenando el espacio entre el material del recubrimiento y el suelo con grava y arena.

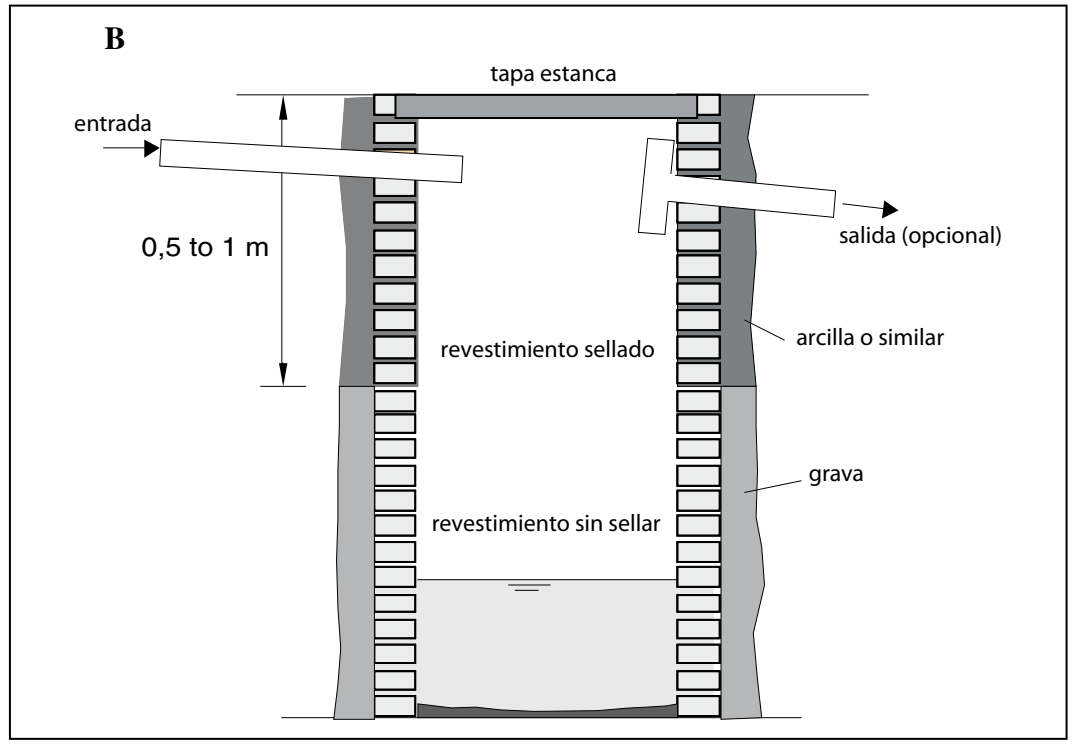


Figura 19.16: Pozos ciegos. B: Revestido.

Cuadro 19.5
Valores experimentales de la capacidad de infiltración de distintos suelos

La forma de infiltrarse el agua a través del suelo depende del tipo de suelo. La arcilla se expandirá con la humedad y el suelo se volverá impermeable. Los limos y arenas finas son suficientemente permeables como para drenar el agua, pero se volverán impermeables cuando el agua residual tenga una elevada concentración de sólidos. Suelos de porosidad elevada permiten drenar el agua fácilmente, estos incluyen arenas, gravas y suelos rocosos fracturados. Los suelos orgánicos tienen una gran capacidad para retener agua. Sin embargo, las raíces de los árboles y otras plantas crean fracturas en el suelo a través de las cuales el agua puede drenar fácilmente.

Tipo de suelo	Tasa de infiltración de un alcantarillado sedimentado (litros/m²/día)
Arena gruesa – media	50
Arena fina, arena arcillosa	33
Arcilla arenosa,, marga	25
Arcilla porosa con polvo y arena arcillosa	20
Polvo compacto, polvo arcilloso compacto y arcilla no expandible	10
Arcilla expandible	<10
Fuente: US Environmental Protection Agency, 1980	

El área útil de infiltración (Si) viene dada por:

$$Si = \frac{\text{Volumen del efluente (l/día)}}{\text{Tasa de infiltración (l/m}^2\text{/día)}}$$

La longitud de la zanja para la infiltración es por tanto igual a:

$$L\,(m) = \frac{\text{Área de infiltración Si (m}^2\text{)}}{\text{2 x profundidad de la zanja (m)}}$$

Nota: Las zanjas de infiltración son una alternativa efectiva a los pozos ciegos. Este sistema consta de un tubo de 10 cm de diámetro colocado en una zanja de 30-50 cm de anchura y 60-100 cm de profundidad que se rellena con grava (de 2-5 cm de diámetro), luego una capa impermeable que evite la penetración de tierra en la grava y todo ello cubierto con tierra para evitar la erosión. La pendiente recomendada de la zanja es de 0,2 a 0,3%.

4.4 Ventajas y desventajas de las letrinas simples, VIP y las de sello hidráulico

Tabla 19.VIII: Ventajas y desventajas de letrinas simples, VIP y con sello hidráulico.

Ventajas / Desventajas	Letrina simple	Letrina VIP	Letrina con sello hidráulico
Construcción			
Tecnología simple	+++	++	+
Bajo coste (posible uso de materiales locales)	+++	++	+
Tiempo de construcción	+++	++	–
Potencial de mejora	–	Posible mejora respecto a la de sello hidráulico	Posible conexión a un sistema de alcantarillado
Uso y mantenimiento			
No necesita agua	+++	+++	–
Fácil de usar (eficacia del sistema independientemente de su utilización correcta)	+++	++ + El interior debe permanecer oscuro	– Siempre requiere usar agua
Mantenimiento	++	++	+++
Adaptación al tipo de lavado anal	++ Adaptado a la limpieza con agua si se instala una losa de plástico o de hormigón y si las condiciones del suelo. lo permiten	++ Adaptado a la limpieza con agua si se instala una losa de plástico o de hormigón y si las condiciones del suelo lo permiten	+* Puede haber taponamientos si se usan materiales sólidos
Higiene y confort			
Privacidad	+ Letrina lejos de casa (mal olor)	++ Letrina cerca de casa	+++ Letrina dentro de casa
Sin olor	+	++	+++
Control de las moscas	–	++	+++
Control de los mosquitos	–	+	+++
Higiene	+++ Si se diseña, construye, usa y mantiene correctamente	+++ Si se diseña, construye, usa y mantiene correctamente	+++ Si se diseña, construye, usa y mantiene correctamente
Comodidad de uso	El foso es visible	El foso es visible	+++

(*) Suelo impermeable

4.5 Letrinas de compostaje

4.5.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Las letrinas de compostaje permiten la reutilización de los excrementos en la agricultura. Las ventajas y desventajas de este sistema se indican a continuación (Tabla 19.IX).

Tabla 19.IX: Ventajas y desventajas de las letrinas de compostaje.

Ventaja	Desventaja
Fertilización de campos Actividades generadoras de ingresos El vaciado regular de las letrinas permite su construcción en entornos rocosos o de capa freática próxima a la superficie en los que no se podrían excavar fosos profundos El proceso de compostaje elimina patógenos	Requiere un uso y mantenimiento continuado, de lo contrario el sistema falla y puede conllevar riesgos sanitarios Muchas comunidades no aceptan el sistema

Esta tecnología sólo se introduce en áreas donde ya se usa el compost, ya que la introducción de un sistema de compostaje es complicada si la población no tiene experiencia previa. Además, la gestión de cada una de estas letrinas lleva bastante tiempo y requiere un esfuerzo constante.

Antes de implementar un programa de letrinas de compostaje, debe quedar claramente establecido que la comunidad estará interesada en el uso o la venta del compost y que estarán dispuestos a manejar excrementos, Este análisis debe incluir un estudio de mercado. La introducción de este sistema en una zona nueva debe venir precedida de un programa piloto con la participación de una o varias familias voluntarias. El programa se puede extender en función de la demanda de la comunidad, una vez confirmados los resultados positivos del programa piloto.

4.5.2 EL PROCESO DE COMPOSTAJE

El proceso de compostaje, facilitado por las letrinas de compostaje, es un proceso biológico aeróbico que estabiliza (seca y desinfecta) los excrementos mezclados con elementos orgánicos (hojas, papel) e inorgánicos (cenizas, tierra) para producir una especie de humus, que puede usarse como abono para el suelo. Este producto puede usarse por la misma comunidad, o venderse, tras un período de cuatro a seis meses.

Una característica importante de las letrinas de compostaje es su capacidad de separar la orina de los excrementos, para facilitar el proceso de compostaje y producir un compost que es fácil y seguro de recoger.

La orina puede guardarse en bidones y usarse como un abono rico en nitrógeno, o diluirse para su uso como insecticida o fungicida en el tratamiento de las plantas.

En la sección siguiente se presentan tres tipos de letrinas de compostaje implementadas por ACF.

4.5.3 EJEMPLOS

4.5.3.1 LETRINAS DE COMPOSTAJE LASF EN GUATEMALA

Contexto

La letrina de cámara doble LASF (*Letrinas Aboneras Secas Familiares* -Family Dry Composting Latrines) se desarrollaron originariamente en 1960 en Vietnam y luego se adaptaron a Guatemala a finales de 1970. Posteriormente se construyeron en otros países de Centroamérica.

ACF llevó a cabo un proyecto de LASF entre 2000 y 2002 (Tabla 19.IX) como parte de un proyecto de agua y saneamiento para comunidades agrícolas vulnerables en el oeste de Guatemala.

El resultado del programa fue muy positivo, aunque se pusiera en práctica en una zona sin experiencia previa en letrinas de compostaje. Se utilizaron más del 95% de las letrinas, con la reutilización del 60% del compost tras un año de funcionamiento.

Diseño

El diseño consta de una letrina elevada con cámara doble y una taza extraíble (Figura 19.17 y 19.18) que no está sellada a la losa, y a la cual se accede por la parte posterior.

El diseño debe tener en cuenta el tiempo que tarda en llenarse una cámara. Cada una de ellas debe ser lo suficientemente grande para dar tiempo a la descomposición total de los excrementos depositados en la otra (ver Sección 4.2.3.2) En Guatemala las dimensiones normales de cada cámara son: 0,8 m x 0,6 m x 0,8 m = 0,4 m^3.

La orina y los excrementos no se depositan juntos. La orina es dirigida a un recipiente externo, para su reutilización, o a un pozo ciego.

Recomendaciones para el uso

Mientras está en uso una cámara, la segunda está cerrada para que los excrementos que han sido depositados durante los seis meses precedentes sufran su descomposición aeróbica. Cada seis u ocho meses, la cámara que esté llena de excrementos hechos compost se vacía en bolsas y se almacenan en un lugar seco; la cámara así vaciada se pone en servicio, y la otra se cierra para que se inicie en ella la descomposición.

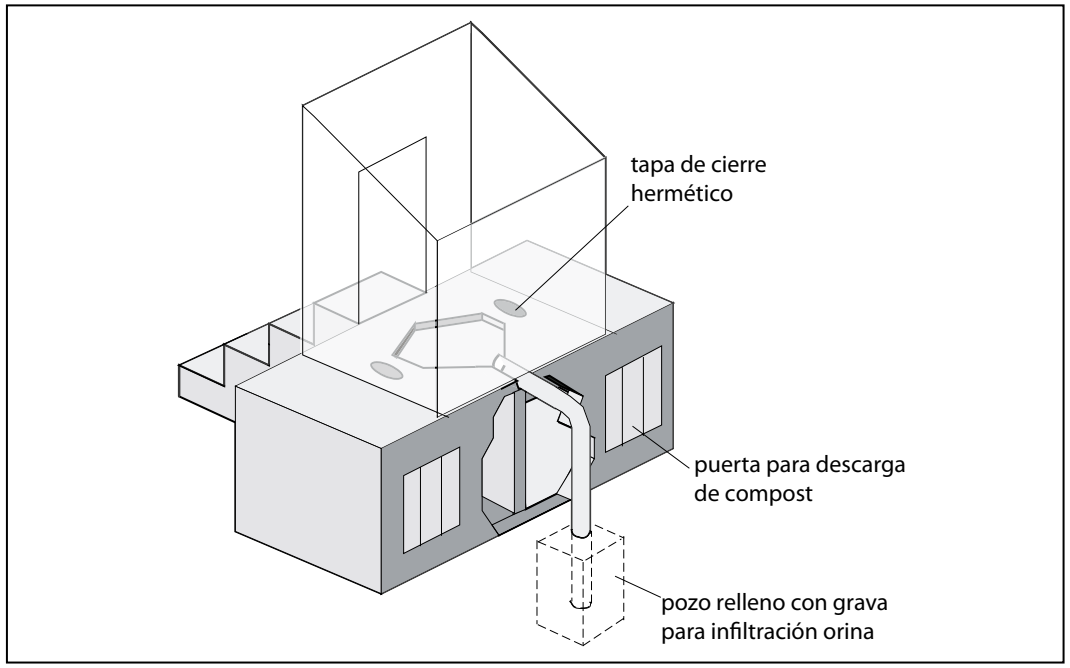


Figura 19.17: Diseño de una LASF.

Figura 19.18: Una LASF en Guatemala (ACF).
A: taza del retrete (separación orina-excrementos). B:vaciado y almacenamiento del compost.

Todo proyecto LASF debe incluir componentes tales como una fuerte capacidad de construcción y la educación en saneamiento, al tiempo que se capacita en el almacenamiento y el uso del compost.

Eficiencia del tratamiento

El compost producido ha de ser analizado y los resultados se resumen en la Tabla 19.X.

Tabla 19.X: Contenido promedio de nutrientes en 9 muestras de compost procedente de excrementos humanos.

Nutriente	g/kg	% de nutriente en el peso total del compost	% relativo de cada nutriente
N	7,8	0,8%	13%
P_2O_5	16,5	1,6%	27%
K_2O	37,3	3,7%	61%

– Se recomienda añadir un aditivo rico en nitrógeno a este compost (urea, compost de estiércol de caballo, etc.), dado su bajo contenido en nitrógeno.

– La eliminación de patógenos es excelente. Tras tres meses en un ambiente seco la mayoría de los patógenos han muerto.

4.5.3.2 LETRINA DE BARRIL DE COMPOSTAJE EN EL SALVADOR

Contexto

Oxfam en El Salvador diseñó una versión nueva de la tradicional letrina de barril de compostaje con el fin de reducir el tiempo y el espacio necesario para su construcción, y puso en práctica este diseño en el país en la fase de rehabilitación tras el terremoto de 2001. ACF adoptó este diseño en su programa de El Salvador en zonas donde ya se había usado.

Las letrinas de barril tienen tres ventajas principales:

– los excrementos se pueden transportar dentro de los barriles, lo que disminuye los riesgos durante el transporte y mejora la aceptación por parte de las comunidades;

– aceleran el proceso de compostaje;

– el barril está dentro del foso de la letrina con su parte superior sobre el nivel del suelo, que lo protege de inundaciones.

Diseño

La letrina consta de una cabina simple sobre un barril de acero de 200 litros (Figura 19.19) instalado dentro del foso, de modo que sobresalga unos 30 cm sobre el nivel del suelo. El barril está equipado con una taza especialmente diseñada con fibra de vidrio (taza doble), con un tubo de 3" para la evacuación de gases y con cuatro asas soldadas.

Al igual que en el sistema LASF, la orina es dirigida al exterior a través de un tubo flexible a un pozo ciego.

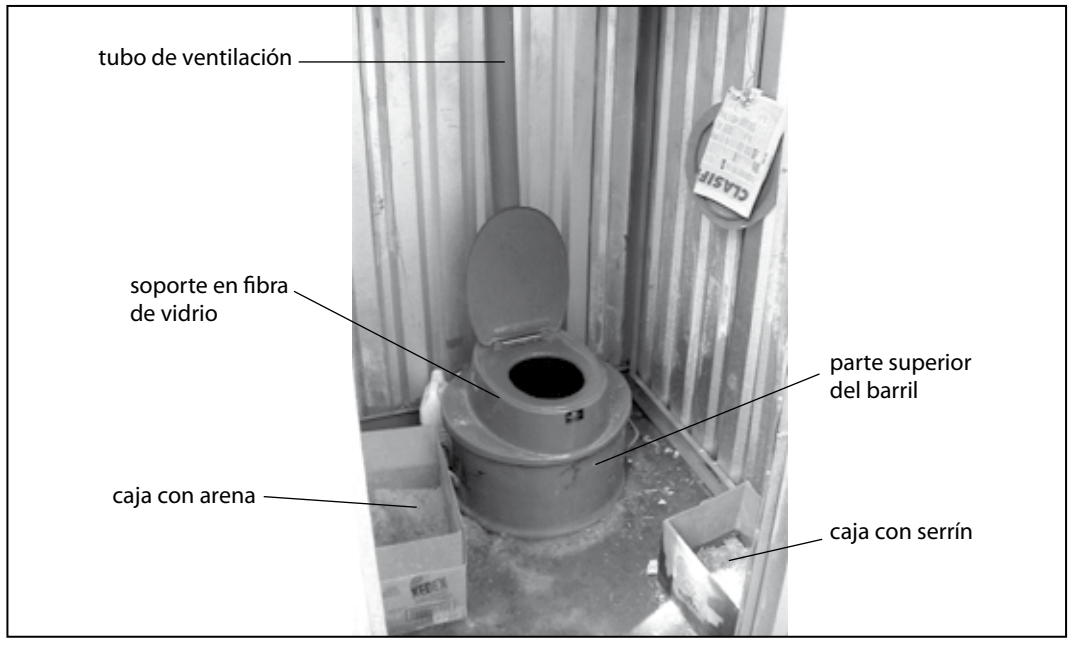


Figura 19.19: Ejemplo de letrina de compostaje de barril (ACF El Salvador). Detalles del interior.

Recomendaciones de uso

Se requieren tres personas para quitar el barril cuando esté lleno (aproximadamente cada tres meses en una familia de 6 personas), y reemplazarlo por otro vacío. El proceso de compostaje continúa en el primer barril, que se deja cerrado con un tubo de ventilación durante dos meses en la sombra o 2-3 semanas al sol. Después el barril se vacía sobre el suelo y el material compostado se guarda en bolsas en un lugar fresco y seco.

Proceso de tratamiento y eficiencia

El proceso de tratamiento es el mismo que para el sistema LASF, excepto que se puede acelerar con la exposición al sol.

4.5.3.3 LETRINAS DE BODEGA EN KABUL

Contexto

La mayoría de las casas privadas en Kabul, así como en muchas otras partes de Afganistán, usan normalmente una letrina de bodega tradicional. Los agricultores organizan la recolección de los excrementos directamente desde las letrinas de bodega para su compostaje en otro lugar. Durante las décadas de conflicto, las letrinas no tuvieron el mantenimiento adecuado quedando en estado de abandono. Al mismo tiempo, la recolección de excrementos disminuyó, lo que conllevó una degradación de las condiciones sanitarias en la ciudad. Muchas agencias emprendieron la rehabilitación de estas letrinas tradicionales. El CICR mejoró el diseño original (reforzando la construcción y añadiendo un tubo de evacuación para la orina, así como una puerta para cerrar el foso), y ACF adaptó el modelo como se describe a continuación.

Diseño

La letrina se instala en la calle junto a la pared del complejo residencial. La bodega de la letrina tiene un acceso a la calle de modo que se puede vaciar desde el exterior del complejo. El modelo mejorado, diseñado por ACF, consta de (Fig.19.20 A):

– una bodega de piedra y mampostería con un fondo de hormigón, que protege la capa freática de poca profundidad y un surco poco profundo situado en la parte posterior para permitir la percolación de líquidos;

– una puerta metálica con cierre que permite la recogida de excrementos desde la calle;

– una losa de hormigón armado cuyo diseño permite la separación de la orina y los excrementos, y la recogida de agua del lavado anal y de la limpieza de la losa (Figura 19.20 B);

– un tubo de ventilación con tela mosquitera en el extremo;

– una superestructura de adobes; y

– un techo construido con troncos de madera, barro y paja.

En 2003, este sistema costó aproximadamente US$200.

Eficacia del tratamiento

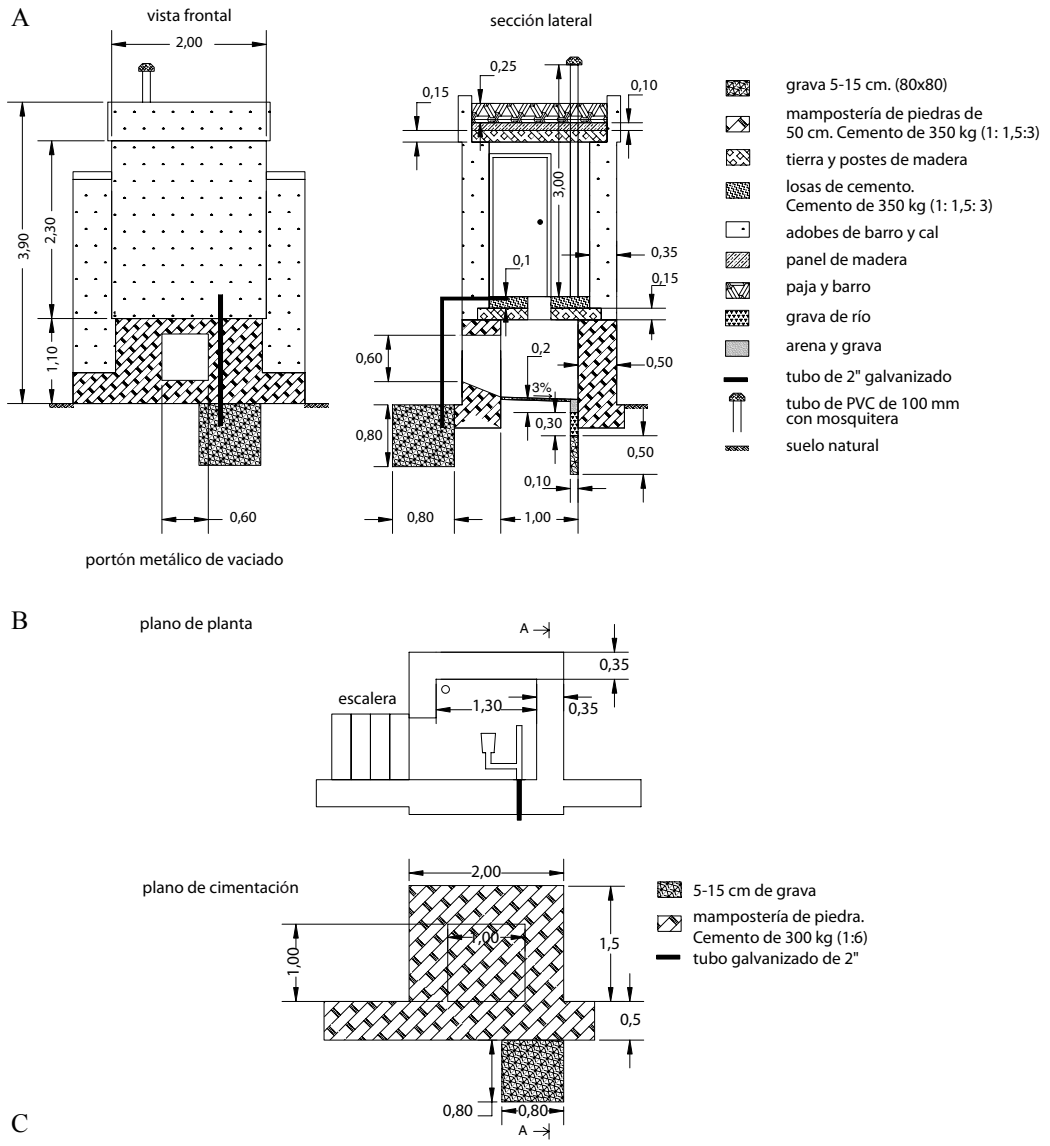
El vaciado se hace cada 45 días, en promedio, según la experiencia de ACF. Los análisis del compost se presentan en la Fig. 19.20.C.

Limitaciones en la selección del diseño

Este sistema sólo se puede considerar allí donde la recogida de excrementos es una práctica normal, ya que estas letrinas carecen de la capacidad de almacenamiento a largo plazo. De otro modo, la bodega se llenaría en uno o dos meses y los excrementos rebosarían a la calle.

Recomendaciones para el uso y comentarios generales

Tradicionalmente, los agricultores de las zonas rurales circundantes acostumbraban a emplear gente para vaciar letrinas y transportar los excrementos hasta sus campos para la producción de compost. El sistema tradicional de recogida de excrementos se basaba en el beneficio mutuo: los agricultores recibían excrementos a bajo coste y lo reutilizaban como abono, mientras que las casas tenían las letrinas vacías sin coste alguno. Además esta actividad daba ingresos a los que recogían y transportaban los excrementos.



nutrientes	P (P_2O_5)	K (K_2O)	N
muestra 1	0,69	0,35	0,31
muestra 2	0,71	0,24	0,28
muestra 3	0,68	0,19	0,29
muestra 4	1,41	0,33	0,33
muestra 5	0,77	0,38	0,29
rango normal en g/100 g de materia seca	0,1-1,7	0,1-2,3	0,1-1,8

Figura 19.20. Letrina de bodega (ACF Afganistán). A: diseño general. B: losa, separación entre orina y excrementos. C: concentraciones de algunos de los principales elementos presentes en el compostaje de Aqa Ali Shams frente a los valores normales del compost.

Recientemente, el sistema dejó de funcionar en muchos vecindarios de Kabul, por:

1. El aumento de la población urbana durante las dos o tres décadas pasadas, que ha causado una disminución del área dedicada a la agricultura alrededor de la ciudad y ha incrementado en número de letrinas a vaciar.
2. La sequía que ha afectado la región de Kabul desde 1999, haciendo que muchos agricultores abandonen sus tierras, con lo que disminuye la demanda de abono.

La principal consecuencia del deterioro de este sistema fue que las letrinas de Kabul dejaron de vaciarse de forma regular, llevando a un incremento de riesgo de la salud pública.

Para resolver este problema, ACF se centró en la recogida de excrementos y el subsiguiente proceso de compostaje. Se estableció un convenio entre un comité vecinal local patrocinado por ACF y los agricultores de la zona. Este comité vecinal se responsabilizó de lo siguiente:

– organización de campañas de vaciado de letrinas y transporte de excrementos a los agricultores;
– compra y aprovisionamiento de materias primas para la producción de compost (como paja, serrín, etc.);
– compostaje de los excrementos;
– empaquetado y almacenamiento del compost para la venta;
– venta de sacos de compost a otros agricultores.

Los agricultores se responsabilizaron del proceso de producción de compost, incluyendo la mezcla de excrementos con materias primas y la agitación regular de la mezcla. ACF proporcionaba asistencia técnica, incluyendo la capacitación de los agricultores, elección de las fórmulas de compostaje, seguimiento de la temperatura de los montones de compost, y aseguraba la promoción del compost para la venta.

El proceso de descomposición aeróbica es más eficiente en sitios adecuados a tal efecto que en las letrinas de compostaje, ya que el material se mezcla y se airea repetidamente.

Con la ayuda de la población local, ACF ha rehabilitado más de 2.350 letrinas en Kabul hasta finales de 2003.

4.6 Letrinas para suelos rocosos y congelados, para zonas con acuíferos superficiales y zonas propensas a inundaciones

La construcción de letrinas en *suelos rocosos o congelados* es difícil debido a los problemas de excavación. Se requieren herramientas especiales para excavar, como cinceles, mazos, palancas o martillos neumáticos, así como mucho tiempo y esfuerzo para acabar el trabajo. Además, la baja tasa de infiltración a través de este tipo de terrenos implica que los fosos se llenen rápidamente. En estas situaciones, es preferible que los fosos sean pequeños y que se vacíen con más asiduidad.

La construcción de letrinas en zonas *con acuíferos superficiales* es complicada por los riesgos de contaminación del agua subterránea, y, consecuentemente, de los puntos de agua próximos (ver Sección 3.5, sobre contaminación de los puntos de agua). En estos casos no siempre es recomendable excavar fosos y usar diseños estandarizados de letrinas.

Hay soluciones simples que han sido positivamente probadas en contextos difíciles como estos. Algunas de estas soluciones se muestran a continuación.

Letrinas de doble foso (para letrinas sin agua y sistemas con sello hidráulico)

Este diseño se puede construir en condiciones en las que no se pueda excavar mucho debido al nivel superficial del acuífero o al suelo rocoso, y también en contextos no problemáticos, para aumentar la vida operativa de una letrina, haciéndola más fácil de vaciar. La letrina consta de dos fosos relativamente poco profundos, que se pueden construir parcialmente sobre el suelo si la excavación está muy restringida. Cuando se llena el primer foso se sella y se pone en funcionamiento el segundo. Cuando el segundo se llena, en el primer foso ha transcurrido ya el tiempo suficiente (12-18 meses) para la descomposición de los excrementos. A continuación se vacía el primer foso y se prepara para volver a ser reutilizado. Los excrementos compostados se pueden desechar o usar como abono (ver Sección 3.5).

Letrinas de compostaje

Las letrinas de compostaje se adaptan muy bien a contextos difíciles como estos. Letrinas de bodega, de doble cámara de compostaje, o de barril se pueden construir sin tener que excavar un foso (ver Sección 4.5). Estos sistemas son particularmente interesantes si hay un mercado en el que vender (o que use) el abono fabricado por el compostaje de los excrementos, pues proveen un incentivo económico para que la comunidad adopte un sistema adecuado de letrinas.

Letrina de foso elevado

Para la construcción de una letrina de foso elevado en zonas de acuíferos próximos a la superficie (Figura 19.21), el foso se excava tan profundo como sea posible durante la parte final de la estación seca, justo cuando el nivel freático está en lo más bajo. El foso se recubre y se protege para aislarlo del nivel freático que sube hasta la base del foso durante la estación húmeda. El foso se extiende sobre el nivel del suelo, hasta alcanzar el volumen requerido, construyendo paredes impermeables o usando grandes recipientes metálicos o prefabricados de hormigón colocados dentro del foso.

Las letrinas construidas en *zonas propensas a inundaciones* deben ser accesibles incluso durante las inundaciones, al tiempo que deben evitar que los excrementos salgan del foso, con la consiguiente dispersión de contaminantes. La Figura 19.21 B muestra un ejemplo de elevación de un foso por medio de anillos de hormigón que, al mismo tiempo, protegen el foso de la entrada de agua.

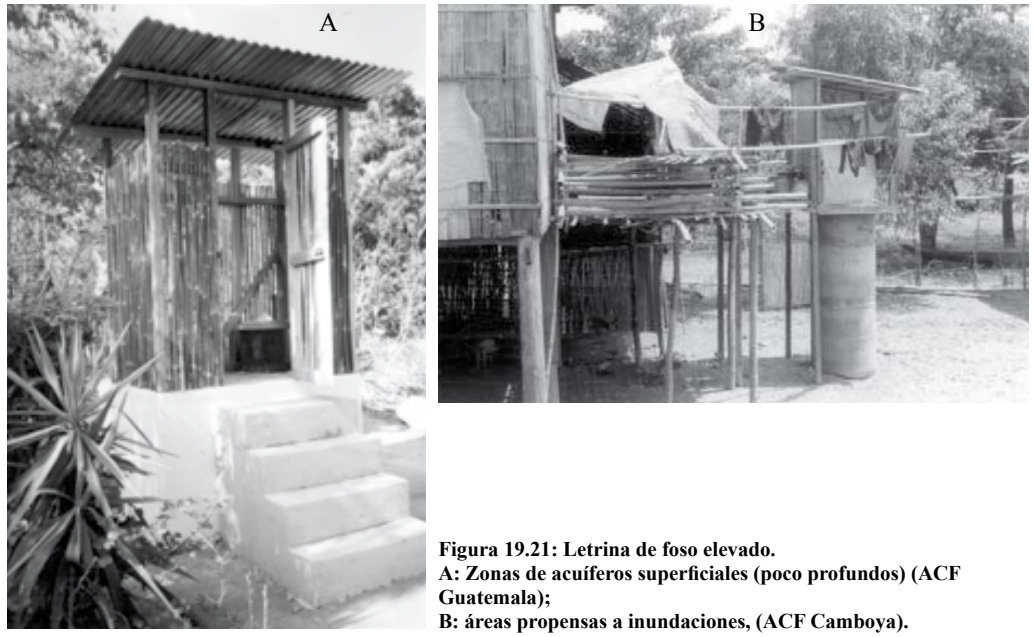


Figura 19.21: Letrina de foso elevado.
A: Zonas de acuíferos superficiales (poco profundos) (ACF Guatemala);
B: áreas propensas a inundaciones, (ACF Camboya).

Letrina de cubo o barril

La letrina de cubo consiste en un sistema en el que los excrementos se depositan en un cubo o un barril que se puede sacar y vaciar fácilmente. Esta letrina requiere un nivel elevado de sensibilización sobre su mantenimiento y vaciado, dados los potenciales riesgos sanitarios. Sin embargo, si se usa adecuadamente y tiene un sistema seguro para el vaciado y vertido, y está acompañado de un programa adecuado de mantenimiento y promoción de la higiene, puede ser un sistema eficiente. Este sistema requiere limpieza y mantenimiento diario, con el material depositado dentro del cubo o barril vertido en un tanque mayor de recuperación, que, a su vez, se ha de verter diariamente en un lugar preparado para su tratamiento adecuado o en un vertedero.

4.7 Control de los excrementos en campos de refugiados o IDP

El control de los excrementos en estas situaciones de emergencia se debe poner en práctica rápidamente, ya que las grandes concentraciones de personas crean ambientes en los que el riesgo de epidemias (p.ej. cólera y otras diarreas) es alto y en los que las personas son muy vulnerables.

El diseño de las letrinas pasará por varias fases a lo largo de la respuesta humanitaria, para garantizar una intervención rápida y eficiente desde los primeros días de la emergencia hasta la instalación más permanente del campo.

Objetivos / actividades por fase:

Fase 1:

- Identificar zonas donde la defecación originará riesgos sanitarios (cerca de puntos de agua, aguas arriba del río del campo, cerca de hospitales, etc.) y controlar el acceso de las personas a estas áreas.
- Identificar y delimitar las áreas específicas donde las personas puedan defecar (campos de defecación, Figura 19.22).
- Construir letrinas en puntos públicos clave: centros de salud, escuelas, etc.

Fase 2:

- Construcción y mantenimiento de letrinas públicas de emergencia.

Fase 3:

- Construcción de letrinas familiares.

4.7.1. CAMPOS O ZANJAS DE DEFECACIÓN

Estas instalaciones, anteriores a la construcción de letrinas, permiten atender rápidamente las necesidades de grandes poblaciones, disminuyendo el riesgo de propagación de la contaminación fecal (Tabla 19.X & Figura 19.22).

El campo de defecación consiste en la delimitación de una zona donde la población puede defecar. Son más adecuados en zonas secas y climas secos por que se instalan al aire libre.

Los campos de defecación pueden mejorarse con zanjas de defecación en las que las heces se entierran, disminuyendo así los riesgos para la salud. Estas zanjas pueden ser poco profundas (20 – 30 cm de anchura y 15 cm de profundidad) o más profundas si se dispone de herramientas y mano de obra. Las zanjas de defecación se pueden excavar muy rápidamente, a mano, o, si hay disponibilidad, con una excavadora mecánica.

Se pueden colocar paneles de madera o troncos a lo largo de la zanja para soportar el peso de los usuarios sobre la zanja. Se recomienda también hacer compartimentos con láminas de plástico u otros materiales locales para dar cierta privacidad.

Las heces recogidas en la zanja normalmente se cubren cada día con tierra para limitar los olores y la infestación de moscas. Las zanjas de defecación se llenarán rápidamente, y se necesitará cavar zanjas nuevas cada pocos días, todo dependiendo de la cantidad de población y de la profundidad de las zanjas.

Se debe consultar con los representantes locales sobre las particularidades respecto a los temas de privacidad, género, niños, etc., ya que hay diferencias entre las distintas comunidades y culturas

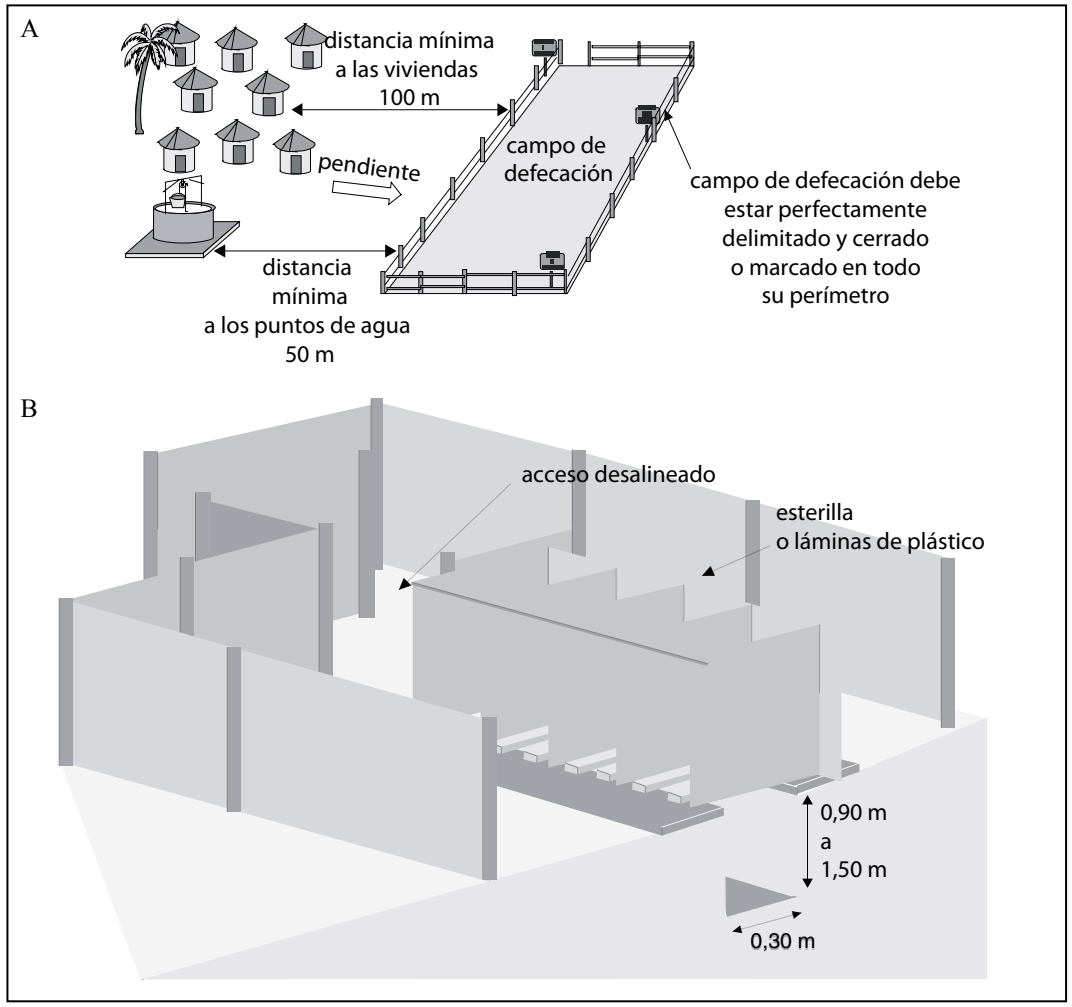


Figura: 19.22: Gestión de la defecación en la primera fase (aguda) de una emergencia.
A: campo de defecación. B: zanja de defecación.

Tabla 19.XI: Características y construcción de campos o zanjas de defecación.

Área del campo	< 5 m^2/persona
Distancias a mantener:	
Campo-viviendas	100 m
Campo-punto de agua	50 m aguas abajo del punto de agua
Longitud de la zanja	2,5 m / 100 personas
Distancias a mantener:	
zanja – punto de agua	30 m
fondo de zanja – acuífero	2 m
Materiales	
(para una zanja de 10 m de largo)	5 tablones (L = 4 m, A = 0,2 m)
	21 postes (2,5 m largo, 0,1 m de diámetro)
	Láminas de plástico (L = 36 m, A = 2 m)
	1 kg de clavos de 7 cm
Personal	4 personas durante 1 día (zanja)
Herramientas	2 palas, 2 picos, 2 cubos (12 l)
	10 m de cuerda de 4-mm
	1 sierra de mano, 1 machete,
	2 martillos de carpintero
Construcción	cavar la zanja (longitud: 10 m, profundidad: 1,5 m, anchura: 0,3 m)
	protección del borde de la zanja con tablones de madera
	cavar agujeros para los postes
	construcción del recinto
	(láminas de plástico o esterillas)
	compartimentación para privacidad

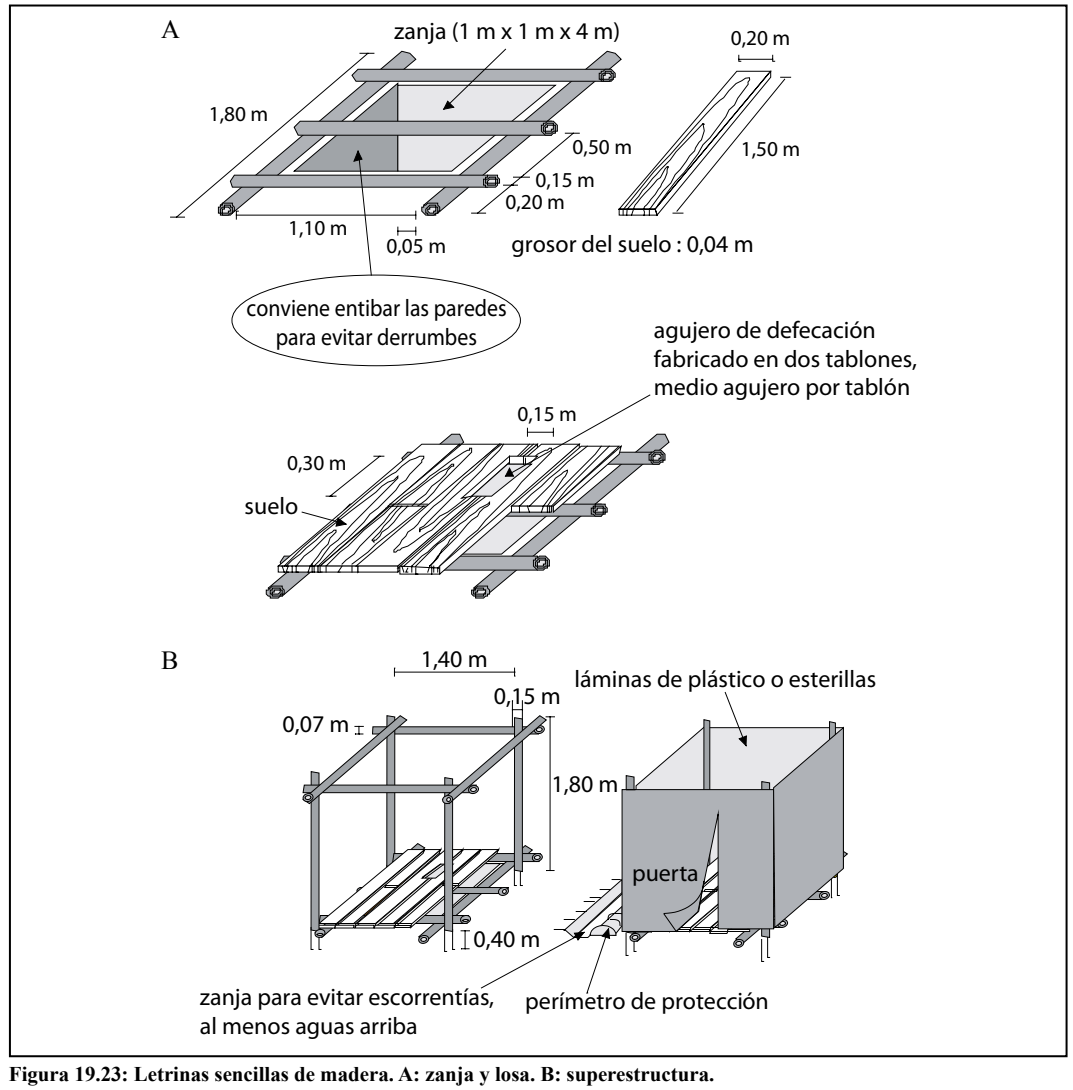


Figura 19.23: Letrinas sencillas de madera. A: zanja y losa. B: superestructura.

4.7.2 LETRINAS SIMPLES

Las letrinas con losas de madera (Tabla 19.XII & Figura 19.23) son una solución rápida a las necesidades de saneamiento en los campos, y se usan a menudo en la construcción de letrinas más permanentes. Sin embargo, este tipo de diseño se usa normalmente a nivel casero, por ser difíciles de limpiar y mantener en un campo. Se debe llevar a cabo promoción de la higiene y a menudo hay que pagar equipos de limpieza.

El uso de losas metálicas o de plástico para letrinas simples es un modo efectivo de intervención rápida en un contexto de emergencias. Estas losas deben formar parte del stock de emergencia.

Tabla 19.XII: Características y construcción de letrinas sencillas de madera.

Materiales	10 x 1,40 m vigas para el apoyo (0,10 m diam.)
(zanja de 1 x 1 x 4 m con	9 x 2,20 m vigas para la estructura (0,15 m diám.)
soporte de vigas cada	4 x 1,60 m vigas para refuerzo (0,07 m diám.)
0,50 m)	10 paneles (A = 0,20 m, L = 1,5 m)
	Láminas de plástico (A = 1,80 m, L = 7 m)
	2 kg de clavos de 7, 10, y 12 cm
Personal	3 personas por 2 días (1 carpintero y 2 asistentes)
Herramientas	2 palas, 2 picos (azadas), 1 cubo, 2 martillos de carpintero, 1 sierra, 1 cinta métrica
	10 m de cuerda de 8 mm.
Construcción	Cavar la zanja (1 x 1 x 4 m)
	Instalación de vigas, clavadas al suelo
	Fijar el suelo con clavos
	Erigir los postes y fijar las láminas de plástico
	Instalación del sistema de drenaje alrededor de las letrinas

4.7.3 LETRINAS SEMI-PERMANENTES O PERMANENTES

Si la población desplazada permanece en el campo durante meses o más tiempo, se deben construir letrinas semi-permanentes o permanentes para garantizar un saneamiento adecuado. La construcción se puede llevar a cabo con la ayuda de los residentes del campo o solamente por ellos mismos, dependiendo del nivel de motivación que presenten y de la fortaleza de los programas de promoción a la higiene. (ver Secciones 3 & 4).

5 OTRAS ACTIVIDADES DE SANEAMIENTO AMBIENTAL

5.1 Estructuras de higiene personal

5.1.1 INSTALACIONES PARA EL LAVADO DE MANOS (Y LIMPIEZA ANAL)

Lavarse las manos es una de las formas más efectivas para reducir el contagio de enfermedades por vía fecal-oral. Para ello, es completamente necesaria la disponibilidad de agua en los hogares y en sitios públicos donde el lavado de manos es una prioridad, por ejemplo en letrinas públicas o en centros sanitarios. Siempre es importante lavarse las manos tras la defecación, aún cuando se use agua para la limpieza anal. Las letrinas deben de estar provistas de instalaciones para el lavado (lavabos).

Para instalar lavabos, se puede hacer una conexión con el sistema de distribución de agua existente para crear un nuevo punto de agua. Si no hay suministro de agua por tubería, siempre se podrá crear un nuevo punto de agua independiente; por ejemplo, un pozo equipado con una bomba manual. De forma alternativa, se pueden colocar pequeños bidones o recipiente sellados, equipados con grifos

y que contengan agua clorada, y situarlos cerca de las letrinas para ofrecer una solución rápida y barata. La comunidad debe rellenar y mantener estos recipientes a diario, y se debe construir, en todo caso, el drenaje correspondiente.

5.1.2 ZONAS PARA DUCHAS Y LAVADO DE ROPA

Para limitar la transmisión de enfermedades por el agua de lavado, es fundamental que la población tenga acceso a las instalaciones de lavado, así como que junto a estas instalaciones sea posible la provisión de agua potable.

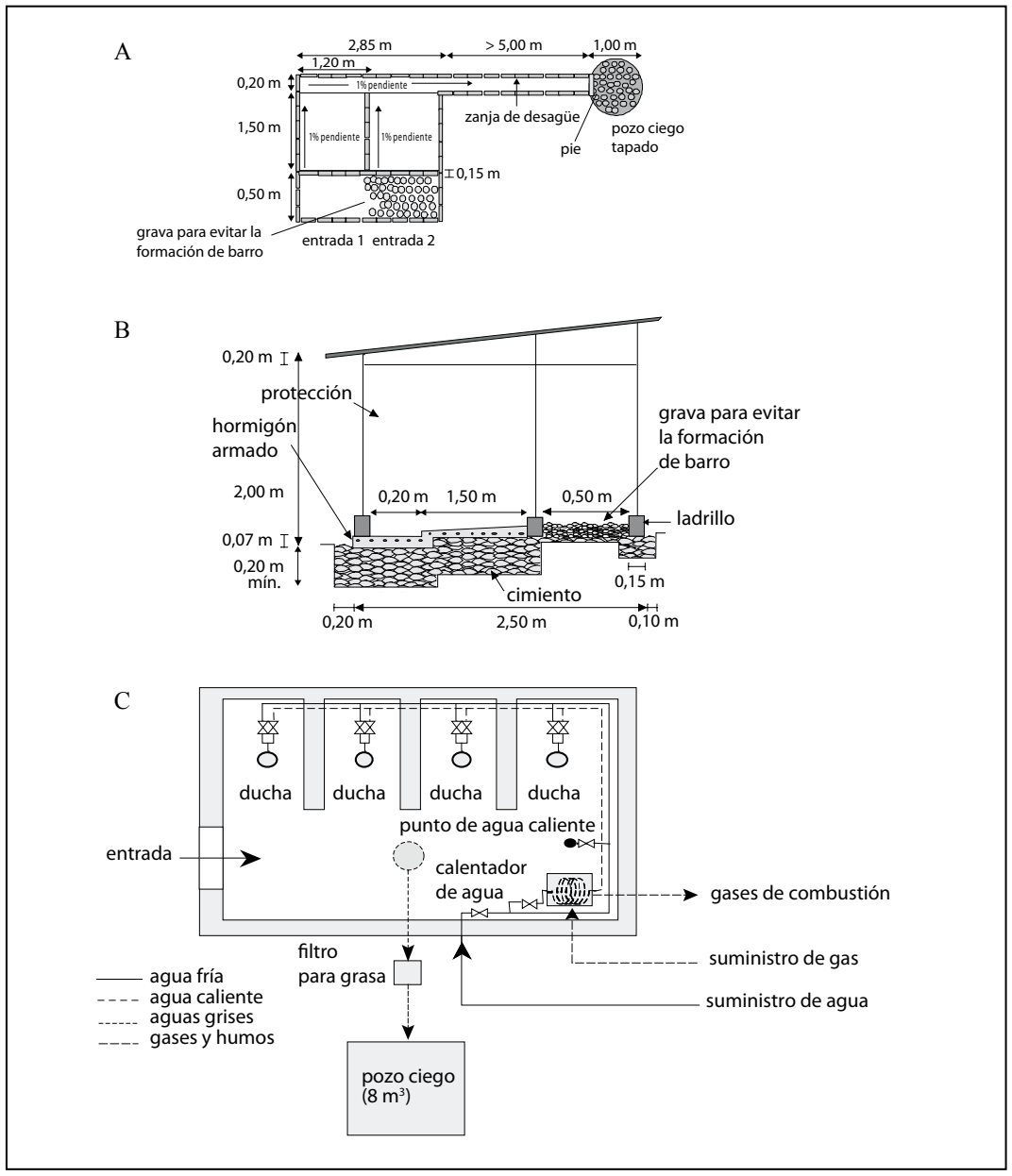


Figura 19.24: Duchas.
A: plano (2 unidades) con pozo ciego. B: sección (2 unidades).
C: plano de un bloque (4 unidades) de duchas con agua caliente, (ACF, Ingusetia, 2001).

5.1.2.1 DUCHAS

Las instalaciones para la higiene tienen dos objetivos principales: apoyar la promoción de hábitos higiénicos saludables, teniendo en cuenta los factores socio-culturales, y reducir los riesgos sanitarios relativos al agua estancada (vectores, contaminación del punto de agua) (Cuadro 19.6).

La Tabla 19.XIII y la Figura 19.24 muestran características del diseño y consideraciones para la construcción de duchas. Se puede usar hormigón, grava u otros materiales para el suelo de las duchas y evitar así la acumulación de agua estancada. En situaciones de frío, se debe suministrar agua caliente. ACF construyó duchas con agua caliente en campos de desplazados chechenos en Ingusetia (Figura 19.24C) y en Irán tras el terremoto de 2003.

Cuadro 19.6
Requisitos para el funcionamiento correcto de duchas y lavaderos

Se debe disponer de agua fácilmente.

El suelo debe ser de superficie fina y con una pequeña pendiente hacia un desagüe que lleve el agua fuera de la instalación. N.B.: en el caso de las duchas, si el suelo es poroso, se puede considerar el recubrimiento del suelo con una capa de grava.

Hay que tomar las siguientes medidas para evitar el estancamiento del agua:

– se recomienda instalar el desagüe al final de la pendiente y dejar que el agua se infiltre cuando el suelo es lo suficientemente permeable;

– se tienen que instalar un pozo ciego y una trampa para grasas cuando las tasas de infiltración son bajas y no hay pendiente natural para el drenaje. (ver Cuadro 19.4);

– se pueden plantar huertas o jardines donde se vierta el agua.

Tabla 19.XIII: Características y construcción de bloques de duchas (2 cubículos).

Distancias a mantener:	
duchas – punto de agua	50 m
duchas – viviendas	10-250 m
Cubículos de duchas por bloque	≤ 10
Materiales	piedras 2,5 m^3, 5,5 sacos de cemento, ladrillos (desagüe de 5 m y zanja 0,55 m^3, arena 0,4 m^3, grava 0,55 m ^{3},115 m de filtración de 3 m) alambrón de 6 mm, 3 Kg de alambre, 9 vigas de 2,5 m (anchura 0,15 m) 20 vigas de 2,9 m (anchura 0,07 m), 35 m^2 de láminas de plástico 2 Kg de clavos de 7 y 10 cm
Personal	1 albañil y 4 ayudantes durante 3 días
Herramientas	4 palas, 4 picos, 2 cubos (12-l), 1 carretilla, 1 nivel de burbuja, 1 par de tijeras, 1 cinta métrica, 2 martillos de carpintero, 1 sierra, 2 paletas, 10 m de cuerda de 4-mm
Construcción	cavar cimentación, poner relleno, preparar el refuerzo, verter el hormigón, dejando la pendiente adecuada para evitar el estancamiento de agua, construir paredes bajas con ladrillos para recibir los postes para la estructura, construir el techo y fijar las láminas de plástico o las esterillas, poner grava en el pasillo para evitar el barro, construir el canal de desagüe y la zanja de filtración o pozo ciego.

5.1.2.2 ZONAS PARA LAVADEROS

El lavado de ropa, fundamental para la higiene personal, a menudo no se lleva a cabo de forma correcta debido a la falta de instalaciones, como puede ser una zona para lavaderos, y se recomienda encarecidamente su construcción junto con las actividades de promoción a la higiene. Las zonas de lavaderos reducen también el riesgo de estancamiento de agua procedente del lavado de ropa (Cuadro 19.6). La disponibilidad de espacio y de instalaciones sencillas para secar la ropa debe considerarse cuando se planifica la instalación de un lavadero. Los lavaderos suelen instalarse cerca de puntos de agua seguros, preferentemente cercanos a manantiales o ríos, aguas abajo del campo o de la comunidad. Estas instalaciones juegan un papel social importante, al servir de punto de reunión (especialmente para las mujeres), y esto se debe de tener en cuenta a la hora de decidir sobre una estrategia dirigida a los hogares o bien a la comunidad.

Las características de diseño y consideraciones para la construcción se muestran en la Tabla 19.XIV y la Figura 19.25.

Tabla 19.XIV: Características y construcción de zonas para lavaderos.

Materiales (canal de 5 m, zanja de infiltración de 3m)	piedras 4,3 m^3, 10 sacos de cemento; ladrillos 0,6 m^3, arena 0,7 m^3; grava 1 m^3, alambrón de 6 mm 230 m, alambre 1,5 kg
Personal	1 albañil y 4 ayudantes durante 3 días.
Herramientas	4 palas, 4 picos, 2 cubos (12-l), 1 carretilla, 1 nivel de burbuja, 1 par de tijeras, 1 cinta métrica, 2 paletas, 10 m de cuerda de 4 mm
Construcción	como la de un bloque de duchas o un pozo ciego

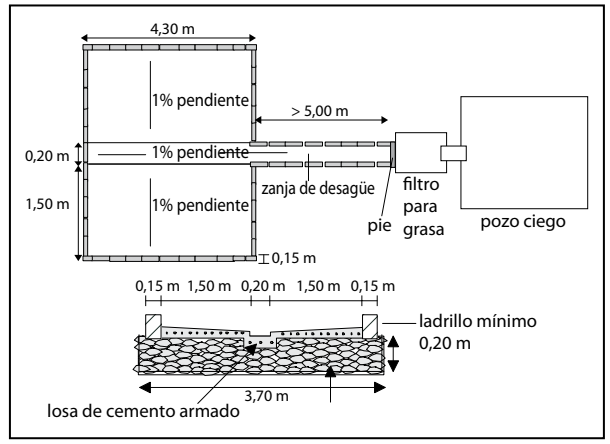


Figura 19.25: Área de lavado con pozo ciego.

5.2. Trampas para grasa

Las trampas para grasa (Figura 19.26) facilitan la separación de grasas y aceites del agua residual. Se instalan en los sistemas de desagüe de las cocinas, de las duchas, de los lavaderos y de otras instalaciones de lavado, y normalmente consisten en una caja (que puede ser la mitad de un bidón de 200 lit.) con deflectores de madera o de otro material. El agua circula libremente a través de los deflectores con el nivel del agua siempre sobre el espacio por encima del deflector, separando, así, el aceite y la suciedad que flotan en la caja. La trampa de grasa se debe vaciar diariamente y los residuos se entierran.

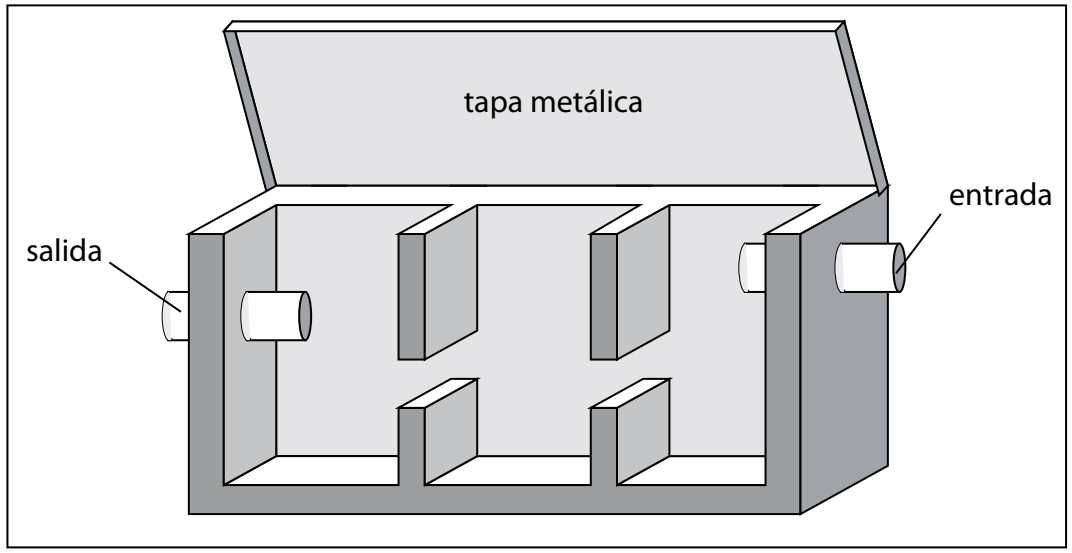


Figura 19.26: Trampa de grasa, ACF Ingusetia 2003.

5.3 DRENAJE DEL AGUA SUPERFICIAL

El agua es el medio ideal para el desarrollo de muchas bacterias e insectos y el agua estancada es, además, un buen factor de transmisión de enfermedades ligadas al agua o transmitidas por insectos vectores relacionados con el agua. El agua puede quedar estancada por el bloqueo de su curso, por la acumulación de agua de lluvia, o proceder de las aguas residuales de los sistemas de distribución de agua y de saneamiento. Los sistemas de drenaje también son necesarios para controlar la escorrentía tras fuertes lluvias que puede dañar las infraestructuras.

El principio del sistema de drenaje consiste en canalizar el agua residual por pendientes naturales para llevarla lejos de la zona habitada a un sistema natural de drenado o a un sistema artificial de infiltración.

Los sistemas de drenaje de agua superficial se deben planificar tras estudios topográficos que determinen la pendiente del terreno (ver Capítulo XVI). Las dimensiones del sistema de drenaje serán función del volumen de agua a desaguar, de las limitaciones del diseño y de la construcción asociados al contexto urbano o rural, y de los recursos disponibles. Dentro del sistema se deben diseñar puentes o plataformas que permitan a la población y a los vehículos cruzar los canales de drenaje.

Las principales actividades durante la construcción del drenaje incluyen: dimensionar y medir la red de drenaje (que debe de tener en cuenta el análisis de la intensidad y periodicidad de las precipitaciones), la construcción y el mantenimiento del sistema (que debe incluir la participación de la comunidad), la protección de los márgenes del canal contra la erosión (p.ej. estabilizando el suelo con la plantación de árboles).

Los canales de drenaje se pueden cavar manualmente o con máquinas. Cuando se cavan manualmente, es importante involucrar a la comunidad. Los canales se pueden o no cubrir o proteger. La protección se puede hacer con hormigón o piedras, y debe poder quitarse para facilitar las operaciones de mantenimiento.

El mantenimiento del sistema se debe llevar a cabo de forma regular, ya que se pueden acumular materiales como vegetación muerta, basura y limos que pueden obstruir el flujo normal del agua, causando desbordamientos y un entorno inseguro.

5.4 Control de vectores

5.4.1 METODOLOGÍA

Las medidas para el control de vectores tienden a reducir los riesgos de desarrollo y transmisión de enfermedades como la malaria, transmitida por el mosquito *Anopheles*, la rabia, que puede transmitirse por las ratas, u otras enfermedades de transmisión fecal-oral transmitidas por moscas.

Sin embargo, la presencia de organismos vectores no implica necesariamente que haya riesgo para la salud. Es necesario recoger información sobre el estado de salud de la comunidad (tales como la incidencia y tipos de enfermedades existentes), los hábitos higiénicos de la comunidad y los riesgos de saneamiento ambiental, antes de implementar un programa de control de vectores.

El Cuadro 19.7 resume la metodología de una intervención para el control de vectores.

Cuadro 19.7
Metodología de intervención para el control de vectores

Identificación de las enfermedades relacionadas con vectores y áreas de riesgo.

Medidas preventivas para estabilizar las áreas de riesgo.

Eliminación o modificación de los sitios de reproducción de vectores:

- construcción de un sistema de drenaje y eliminación de aguas estancadas o zonas húmedas;
- recogida de basuras;
- medidas generales de saneamiento.

Control de los vectores:

- limpieza de las losas de las letrinas y de las superestructura;
- uso de insecticidas y raticidas;
- trampas para la mosca tse-tse;
- programa de promoción a la higiene.

Medidas preventivas:

- distribución de redes para mosquitos: distribución general con especial atención a centros de maternidad, centros de salud y familias con niños menores de 5 años;
- cambio en los hábitos de vestir (p.ej. uso de mangas largas para evitar picaduras de mosquitos);
- promoción a la higiene para la prevención.

La Tabla 19.XV relaciona los principales vectores y las enfermedades que transmiten, los ambientes que favorecen su desarrollo y la medidas más importantes que se pueden tomar para su control.

5.4.2 USO DE INSECTICIDAS

El uso de insecticidas se recomienda sólo en casos extremos a causa del riesgo para la salud que puede suponer para los trabajadores y para la población en general, y también a causa de la resistencia que desarrollan los insectos, que hace necesario el uso de productos distintos cada vez.

Los insecticidas se diseñan para ser efectivos contra las larvas o contra los insectos adultos, y se clasifican en tres categorías: digestivo, de contacto y fumigantes. El uso de deltametrina como insecticida de contacto ha sido ensayado y usado por los equipos de ACF para combatir la propagación de pulgas y moscas. La metodología usada en Benaco, Tanzania, se cita en el ejemplo de programa expuesto a continuación.

Tabla 19.XV: Vectores que pueden suponer un riesgo para la salud

Vector	Riesgo	Entorno favorable	Medidas de control
Moscas	Infecciones oculares (especialmente en niños), enfermedades diarreicas	Alimentos expuestos sin protección, excrementos, animales muertos.	Mejorar el saneamiento ambiental (recogida y vertido de basura orgánica, animales muertos, etc.) usar letrinas VIP o de sello hidráulico. Promocionar el uso de telas mosquiteras en ventanas (casas, hospitales, etc.). Pulverizar los desechos con insecticidas.
Mosquitos	Malaria, filariasis, encefalitis	Agua estancada, principalmente en el perímetro de áreas inundadas y masas de agua con flujo lento.	Eliminar los sitios con agua estancada (charcos, latas, neumáticos, etc.) o pulverizar con larvicidas.
	Fiebre amarilla y dengue	Agua almacenada en o cerca de casas; estanques o agua de lluvia retenida en recipientes, latas o neumáticos viejos.	Control con insecticidas, pulverizando los lugares infestados de mosquitos. Promover el uso de telas mosquiteras.
Ácaros	Sarna, fiebre tifoidea	Áreas masificadas y mala higiene personal.	
Piojo	Tifus epidémico, fiebres recurrentes		Mejorar la higiene personal. En casos extremos, pulverizar a las personas y sus ropas con insecticidas para humanos.
Pulgas	Plaga, tifus murine	Animales infectados, ratas (ver 'Ratas' adelante).	Fumigar las madrigueras de las ratas con insecticidas. Tratamiento de las camas. En casos severos, pulverizar la gente y las ropas con insecticidas de uso humano.
Garrapatas	Fiebre recurrente, varicela	Animales infectados (ver 'Ratas' abajo).	Control químico del perímetro de la comunidad. Limpiar la vegetación hasta 50-100 m alrededor de las casas o de la comunidad. En casos severos, usar el control químico dentro de las casas (con precaución).
Ratas	Fiebre por mordedura de rata, leptospirosis, salmonela	Alimentos sin la protección adecuada, basuras.	Mejorar el saneamiento ambiental. Usar raticidas. Poner trampas en lugares donde se almacena comida o en vertederos de basuras.

5.4.2.1 IMPLEMENTACIÓN EN TERRENO

El objetivo de un insecticida de contacto consiste en poner al insecto en contacto directo con el producto químico. Por ello, la pulverización se dirige tanto a los insectos mismos como a las superficies con las que estarán en contacto, p.ej. suelo, lechos (pulgas), paredes de letrinas (moscas).

5.4.2.2 PRODUCTOS Y PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

El producto usado en Benaco fue deltametrina, un piretroide sintético, disponible comercialmente bajo varias marcas (k-Othrine®, Decamethrine®, NRDC 161®, Cislin®, Cedis®, etc.) Estos productos se suministran generalmente en polvo (ingrediente activo al 2,5%) o en forma líquida (concentrado de 25 g de ingrediente activo por l). Las dosificaciones dadas en la Tabla 19.XVI se refiere al uso en forma líquida.

Tabla 19.XVI: Uso de insecticidas.

Tipo de vector	Dilución	Uso
Pulgas	1 l para 500 l de agua	Pulverizar suelos y camas
Moscas	1 l para 100 l de agua	Pulverizar paredes de letrinas

La proporción de disolución atomizada a usar es de 1 litro por 10 m^2 de superficie a tratar. El atomizador se regula a un flujo de 1 l/min. Para el tratamiento contra las moscas, se usan 3 ó 4 terrones de azúcar por litro de solución, que sirve como cebo y facilita la fijación de la disolución cuando se pulverizan paredes verticales.

El equipo de pulverización lo componen varias personas equipados con pulverizadores manuales (capacidad de 15 – 20 litros). Otras dos personas se encargan de informar a la población local sobre la pulverización.

Una persona se encarga de la gestión del almacén y la preparación de las soluciones y un conductor es el responsable del transporte del equipo y de la solución al lugar a pulverizar.

El plan de la intervención se estructura de la siguiente forma:

– día 1: informar la población y prepararlos para que abandonen sus casas durante la pulverización del día 2;

– día 2: llevar los suministros a los sitios seleccionados con el vehículo y pulverizar.

5.4.2.3 ORGANIZACIÓN DE LOS LOCALES DE ALMACENAMIENTO Y PREPARACIÓN DE LOS INSECTICIDAS

Se deben tomar diversas precauciones durante la preparación y el uso de insecticidas, especialmente para aquellos de uso externo. Estas precauciones se indican en la Tabla 19.XVII y el área de preparación se ilustra en la Figura 19.27.

Tabla 19.XVII: Precauciones a tomar durante la preparación y uso de insecticidas.

Protección de personal	Mascarilla, guantes, gafas, monos, botas
Lavado del material de preparación y pulverización	Una vez al día de forma sistemática
Lavado de ropas	Una vez a la semana de forma sistemática
Instalaciones requeridas	Duchas, lavabos, canales de drenaje de hormigón, pozo ciego

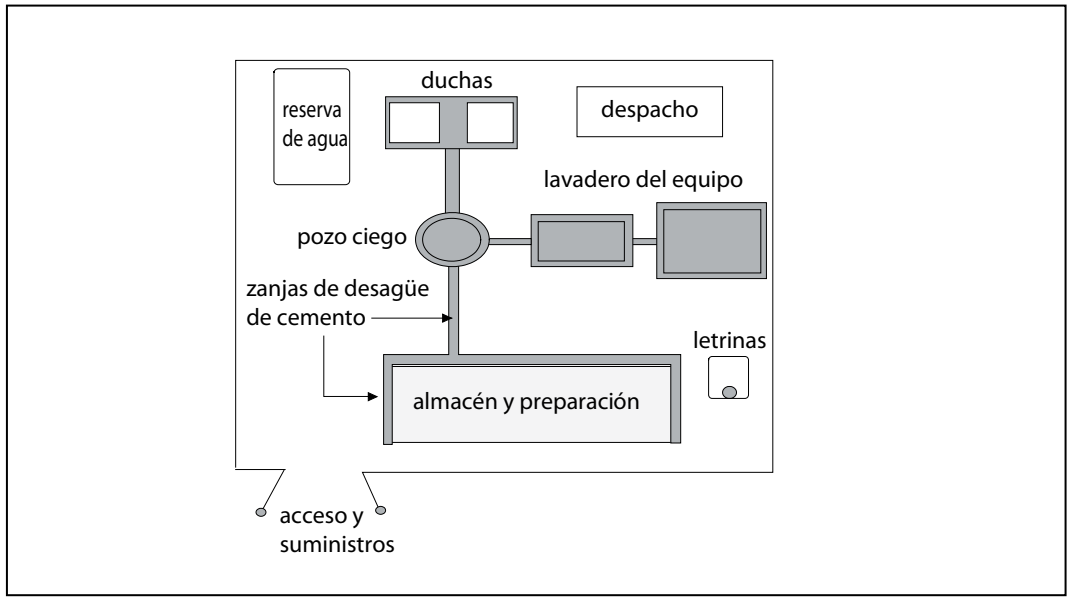


Figura 19.27: Zona para la preparación de insecticidas.

5.5 Gestión de residuos sólidos

5.5.1 INTRODUCCIÓN

La cantidad y tipo de residuos sólidos generados por una comunidad depende de sus costumbres de vida, que, a su vez, dependen de su estatus económico. En general, las comunidades más ricas tienden a generar mayor cantidad de residuos sólidos.

Los residuos domésticos favorecen el desarrollo de vectores de enfermedades como moscas y ratas, y originan apariencias y olores desagradables. Pueden también ser causa de riesgos ambientales si bloquean los sistemas de drenaje tanto naturales como los construidos, aumentando el riesgo de inundaciones.

5.5.2 ENTERRAMIENTO

Los vertederos domésticos o colectivos, en los que se entierran los desechos, constituyen una de las mejores soluciones para combatir la propagación de vectores (Tabla 19.XVIII & Figura 19.28). Se cubren diariamente con tierra, lo que limita la generación de olores y la proliferación de insectos, al tiempo que acelera la descomposición. El acceso al vertedero debe protegerse de los niños y animales con una valla, y de la escorrentía por un canal perimetral de drenaje. Es siempre mejor enterrar basura biodegradable que incinerarla.

Tabla 19.XVIII: Características y construcción de vertederos.

Volumen de basura	0,5 l /persona/día
Distancias a mantener	
• vertedero – punto de agua	30 m aguas abajo respecto al punto de agua
• vertedero – casas	20 m
• fondo del vertedero- acuífero	2 m
Materiales (para un hoyo de 2 m^3 impermeable a una profundidad de 0,50 m)	10 vigas de 1,40 m para soporte (0,10 m diám.) 10 vigas de 1,40 m para la valla (0,10 m diám.) láminas de plástico (A = 1 m, L = 11m) 40 clavos (7 cm)
Personal	2 personas durante 1,5 días
Herramientas	2 palas, 2 picos, 1 cubo, 1 martillo de carpintero,
	5 m de cuerda de 8 mm
Construcción	Cavar hoyo (profundidad 2 m), instalar puntales y listones de madera, apilar tierra para cubrir la basura, instalar una valla de protección y canal de drenaje

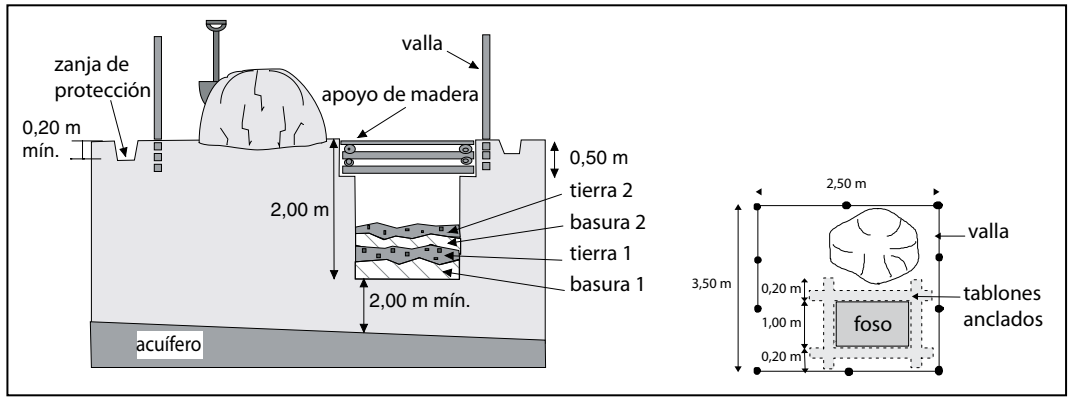


Figura 19.28: Vertedero de basuras.

En áreas rurales la basura puede ser reutilizada y se controla con mayor facilidad. Es posible desarrollar estrategias familiares donde cada hogar tiene su propio vertedero. La basura se deposita diariamente en fosos cavados por las mismas familias recubriéndose con una capa de tierra. El foso se cubre con tierra una vez esté lleno y se cava un foso nuevo. Únicamente es factible la producción de compost si se vierte materia orgánica.

5.5.3 INCINERACIÓN

La incineración se recomienda para el tratamiento de los residuos contaminados procedentes de hospitales y dispensarios, así como para los residuos no biodegradables. Se puede hacer cerca de zonas pobladas, incluso en ambientes urbanos, aunque se debe tener cuidado con la elección del lugar y con el diseño del incinerador para evitar riesgos de incendios y contaminación por humos tóxicos.

Se puede construir fácilmente un incinerador usando un bidón de metal (a notar que se corroe más fácilmente con el calor, Figura 19.29). Para un uso más permanente, se recomienda la utilización de un incinerador construido con ladrillos (Figura 19.30).

Cada tipo de diseño de incinerador consta de un horno con una puerta para extraer las cenizas y regular el flujo de aire, así como una cámara para los residuos con una trampilla para su carga en la parte superior.

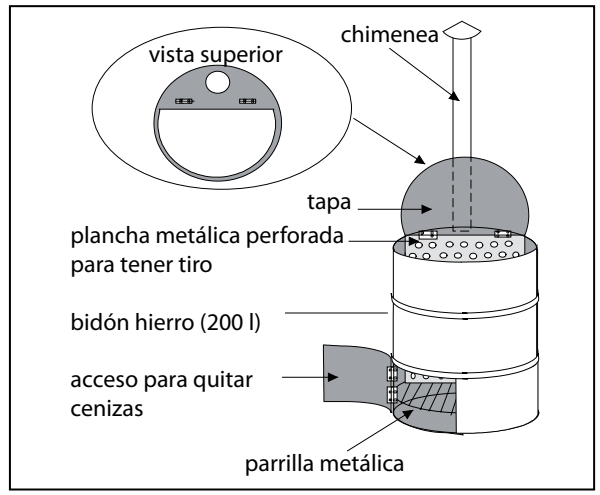


Figura 19.29: Incinerador simple.

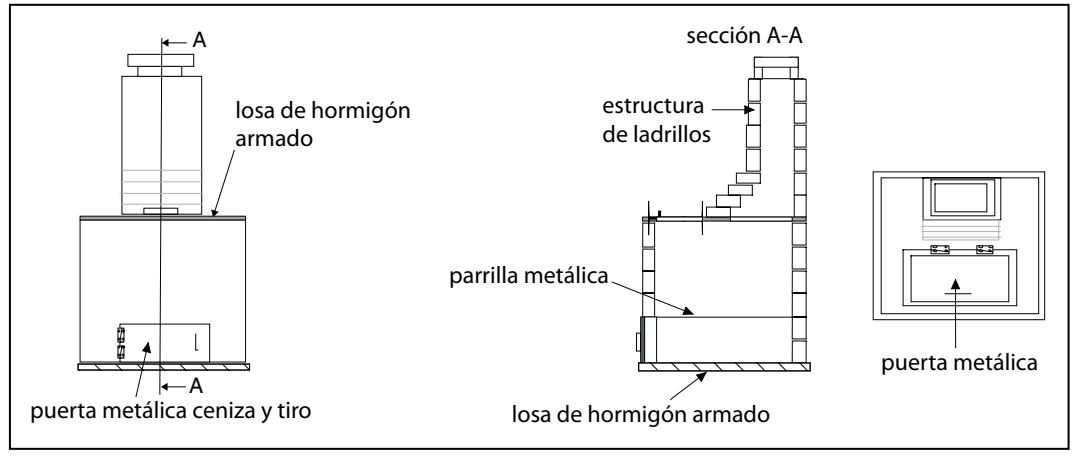


Figura 19.30: Incinerador construido con ladrillos.

5.5.4 CONTEXTOS URBANOS

Las áreas urbanas con bajos ingresos económicos se caracterizan normalmente por unas condiciones sanitarias precarias (Cuadro 19.9). Es común encontrar vertederos abiertos sin protección y espacios inadecuados para la excavación de fosos, lo que conlleva serios riesgos para la salud pública. En estas situaciones, los sistemas comunitarios para el vertido de residuos y los vertederos en condiciones sanitarias, ofrecen las mejores soluciones para el vertido de basuras.

El Cuadro 19.8 resume los aspectos clave para la puesta en marcha de la recolección de basuras en un contexto urbano.

Cuadro 19.8
Aspectos clave para la recogida de basuras en un entorno urbano

La promoción de hábitos sociales clave: recogida y vertido de basura en sitios concretos, participación proactiva de la comunidad.

El sistema de recolección y vertido de basuras: vaciado de basureros y contenedores.

La identificación de zonas para el vertido final: vertederos.

Transporte de los contenedores hasta los vertederos usando carros tirados por animales, tractores y otros vehículos. Creación de microempresas equipadas con medios de transporte para la recogida y que reciben el pago directamente de la comunidad.

Separación de la basura en el destino final para su tratamiento enterrándola, incinerándola, o re-usándola mediante compostaje o reciclado.

Coordinación entre los diferentes actores: comunidad, servicios municipales de suministro de agua y saneamiento, estructuras sanitarias y otras organizaciones locales.

Nota: la comunidad debe participar activamente en el desarrollo del sistema para asegurar su sostenibilidad. La comunidad debe darse cuenta también de que el servicio tiene un coste que debe asumir al menos en parte. El sistema requiere personal entrenado para su funcionamiento, mantenimiento y para la puesta en marcha de un sistema efectivo de gestión para la recogida, transporte y vertido de la basura en un vertedero controlado y en condiciones sanitarias.

5.5.5 GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE UN CENTRO DE SALUD

Los residuos de los centros de salud plantean serios problemas sanitarios dada la presencia de material contaminado y artículos peligrosos incluyendo agujas, jeringuillas y cuentagotas de vidrio. Aparte del peligro físico de este material, agujas y cuentagotas protegen a los virus de la acción de los desinfectantes químicos y del ambiente exterior. De esta manera, una jeringuilla depositada junto con residuos sólidos puede contaminar fácilmente a una persona que se pinche con la aguja.

Los residuos de un centro de salud se tratan generalmente por incineración, enterramiento o por otras tecnologías simples. Estas estrategias son las más adecuadas para instalaciones sencillas en áreas rurales, pero deben considerar que:

– la mayor parte de los riesgos tienen lugar antes de que los residuos lleguen al incinerador o al foso para residuos médicos, debido a la gestión inadecuada de los mismos durante su disposición y almacenamiento (principalmente en los pequeños y medianos centros de salud). Por tanto, la cooperación del personal supervisor y de administración de los hospitales es necesaria para asegurar que se adoptan las prácticas de trabajo adecuadas por parte del personal;

– la provisión de incineradores no es suficiente si éstos no se usan de forma adecuada por el personal del hospital, por lo que la provisión de estos incineradores debe ir acompañada de un programa de capacitación.

Cuadro 19.9
Efecto del aumento rápido de población en áreas urbanas

El rápido crecimiento urbano en la segunda mitad del pasado siglo, debido a la migración desde las áreas rurales, ha puesto de manifiesto la incapacidad de los gobiernos de los países en desarrollo para proporcionar alojamiento y servicios adecuados. Esto ha llevado al desarrollo de vecindarios peri-urbanos caracterizados por unas precarias condiciones de vida con significativos riesgos para la salud.

Los servicios sanitarios presentan un problema particular en las áreas urbanas peor desarrolladas, que se han construido sin una planificación ni permisos de las autoridades, y es donde se asientan la mayoría de las personas empobrecidas. El Banco Mundial (2000) estima que casi el 26% de la población urbana del mundo, más de 400 millones de personas, tiene acceso limitado a los sistemas básicos de saneamiento, como letrinas. Además, las principales áreas peri-urbanas carecen de adecuados sistemas de drenaje y de eliminación de residuos sólidos. Los sistemas de saneamiento ambiental adoptados por las comunidades son a menudo inadecuados y contribuyen al incremento de la contaminación ambiental que propicia la transmisión de enfermedades. Por ello, las áreas peri-urbanas tienen peores indicadores sanitarios que las áreas rurales, incluyendo las tasas de mortalidad infantil y de incidencia de enfermedades relacionadas con los excrementos y el ambiente.

Los vecindarios peri-urbanos se crean rápidamente cuando las familias ocupan espacios vacíos y construyen sus viviendas usando materiales disponibles como, cartones, maderas, adobes, y láminas de hierro o plástico. Estos vecindarios se construyen generalmente de forma ilegal y no siguen ninguna planificación ni normativa urbanas. Se componen de áreas densamente pobladas sin servicios básicos ni infraestructuras de ninguna índole. Generalmente hay grandes problemas sociales y de seguridad en estos vecindarios.

V

Promoción de la higiene

CAPÍTULO XX

Promoción de la higiene

1 Introducción 561
1.1 ¿Que es la promoción de la higiene? 561
1.2 ¿Por qué es importante la promoción de la higiene? 562
1.3 El ciclo de proyecto de promoción de la higiene 563
2 Evaluación de las necesidades 564
2.1 Diagnóstico preliminar 565
2.1.1 Detectar un problema 565
2.1.2 Definir el area objetivo 565
2.1.3 Técnicas de diagnóstico 565
2.1.4 Planificación de la evaluación detallada 565
2.2 Evaluación detallada de necesidades 565
2.2.1 Lo que hay que buscar 566
2.2.1.1 Identificación de prácticas de riesgo 566
2.2.1.2 Definir los grupos meta 567
2.2.1.3 Definición de los medios de comunicación a usar 567
2.2.2 Organizar el plan detallado de evaluación 568
2.3 Técnicas de investigación 568
2.3.1 Paseo sanitario 568
2.3.2 Observaciones estructuradas 569
2.3.3 Entrevistas con informadores clave 570
2.3.4 Encuesta CAP 570
2.3.4.1 Encuesta CAP enfocada al estudio exhaustivo de los comportamientos de higiene de una población 571
2.3.4.2 Encuesta CAP enfocada a la medida del impacto de un proyecto WASH 571
2.3.4.3 Tipos de encuestas CAP 578
2.3.4.4 Cálculo de la muestra 578
2.3.4.5 Ejemplos 579
2.3.5 Discusión con grupo focal 580
2.3.6 Clasificación en tres niveles 581
2.3.7 Línea histórica 581
2.3.8 Mapas de comunidad 581
2.3.9 Calendarios estacionales 582
2.3.10 Papel del género / análisis de tareas 583
2.3.11 Análisis del agua 583
2.4 Análisis de resultados de una encuesta CAP 583
2.5 Reclutamiento y formación del equipo para la evaluación 585
2.5.1 Escoger el equipo que hará la evaluación 585
2.5.2 Formación del equipo de evaluación 586
3 Diseño y planificación del programa 586
3.1 Definición de las metas del programa 586
3.2 Selección de hábitos objetivo 587
3.3 Selección del grupo meta 588
3.4 Diseño del mensaje 588
3.5 Canales de comunicación 589
3.5.1 Imágenes 590
3.5.2 Teatro/marionetas-títeres 590
3.5.3 Cuenta- cuentos 591
3.5.4 Canciones 591
3.5.5 Videos, diapositivas, etc. 592
3.5.6 Medios de comunicación de masas 592
3.6 Selección de los comunicadores 592
3.6.1 Los maestros como comunicadores para asuntos sobre la higiene 592
3.6.2 "Facilitadores" comunitarios de la higiene (CHF) 593
3.7 Consolidación del plan de comunicación 594
3.8 Distribución de kits higiénicos 595
4 Seguimiento y evaluación 596
4.1 Seguimiento 596
4.2 Evaluación 596
5 Ejemplo : Laos 597

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ¿Que es la Promoción de la Higiene?

La Promoción de la Higiene comprende las actividades dirigidas a mejorar la salud de la gente mediante el buen uso de prácticas higiénicas en su vida diaria.

1.2 ¿Por qué es importante la Promoción de la Higiene?

La salud es una de las mayores preocupaciones de los programas humanitarios y un componente básico de la lucha contra la vulnerabilidad y la desnutrición. Las emergencias pueden causar un aumento de las enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento, produciendo, en ocasiones, brotes epidémicos que ponen en peligro las vidas de muchas personas.

La salud pública se puede mejorar concentrándonos en tres áreas fundamentales: el sistema sanitario, la infraestructura de agua y saneamiento, y el comportamiento de la población en lo que respecta a la sanidad. La Figura 20.1 muestra los tres componentes principales de la ingeniería de salud pública.

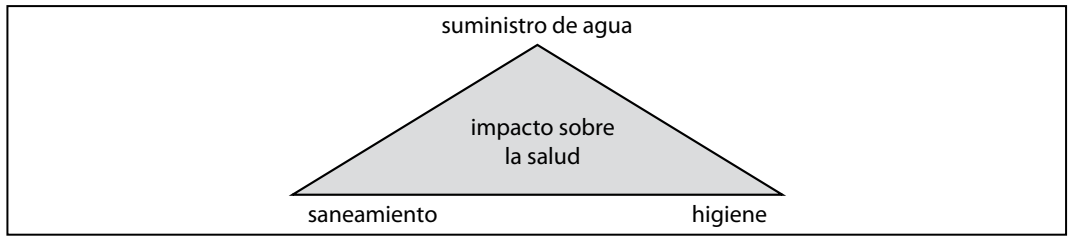


Figura 20.1: Los tres componentes principales de la ingeniería de salud pública.

Las enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento son el mayor problema en los países en desarrollo y por tanto la principal causa de mortalidad. Su desarrollo y transmisión dependen directamente del acceso a las instalaciones de agua, de las medidas de control de vectores, de los hábitos higiénicos y del trasiego del agua. Es esencial que las instalaciones sanitarias y del agua estén limpias para mejorar el ambiente sanitario, pero los resultados serán escasos en términos de salud pública si las prácticas higiénicas no son las adecuadas: el agua limpia desde una fuente protegida se puede contaminar si no se usa correctamente, el impacto positivo del uso de letrinas se reducirá si la gente no se lava las manos después de usarlas y el agua que se estanca en un punto de agua mal mantenido puede representar un riesgo sanitario serio para sus usuarios y vecinos.

La promoción a la higiene tiene un impacto de probada eficacia en la reducción de enfermedades diarreicas, especialmente en lo que se refiere a las prácticas de lavado de manos con jabón. La Figura 20.2 muestra la influencia de varias estrategias WASH aisladas en la reducción de enfermedades diarreicas. La promoción del lavado de manos con jabón es casi 4 veces más eficaz que la mejora de la calidad de agua en la fuente. No obstante, aunque se destaca en este estudio la importancia de la promoción de la higiene, del tratamiento domiciliar del agua o del saneamiento, siempre se debe buscar tener integrados los diferentes sectores WASH.

El objetivo de muchos programas consiste en reducir el riesgo de propagación de enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento por medio de un enfoque integrado en el que se hallan estrechamente relacionados el agua, el saneamiento y la promoción de la higiene.

La promoción de la higiene se centra en reducir los riesgos principales relacionados con la salud y el uso de las instalaciones de suministro de agua y saneamiento por medio de una mejora en los conocimientos y comportamiento de la población. Los temas más desarrollados en los programas de promoción de la higiene son:

- Contagio de las principales enfermedades, comprensión de los riesgos y soluciones.
- Uso correcto de las instalaciones.
- Uso adecuado del agua: recogida, transporte, almacenamiento y consumo.
- Promoción del saneamiento adecuado.
- Higiene personal básica.
- Higiene ambiental.
- Alimentación e Higiene.
- Higiene infantil.

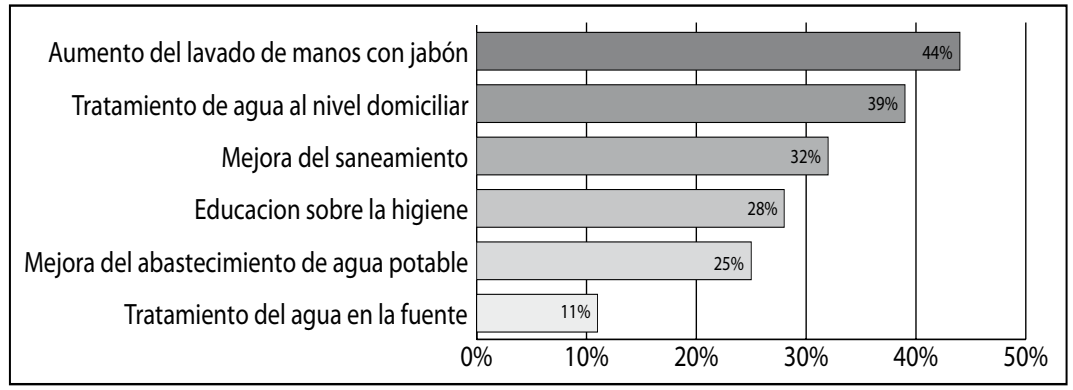


Figura 20.2: Impacto de las actividades WASH sobre la morbilidad diarreica (Fewtrell, 2005).

La higiene depende de los hábitos de las personas y estos hábitos dependen de 5 factores principalmente:

– *Creencias y tabúes*: Algunas creencias se pueden relacionar con riesgos para la salud. El agua tiene un valor sagrado en algunas comunidades y es importante comprenderlo y respetarlo. Los programas de ayuda se han de adaptar a las peculiaridades y a la cultura de las comunidades.

– *Conocimientos*: Muchas comunidades no son siempre conscientes de la relación entre el medio ambiente y las enfermedades, ni de las vías de contagio o de las medidas para evitarlo. Se necesita información comprensible.

– *Comportamiento y hábitos corrientes:* Algunos hábitos existentes tienen un impacto negativo en la salud y son difíciles de cambiar, especialmente si están relacionados con algún tipo de creencia. A veces estos hábitos inadecuados se deben a una falta de conocimientos, pero, a menudo, son el resultado de una falta de voluntad. Lavarse las manos es un ejemplo: la gente sabe que es preciso hacerlo antes de las comidas, aunque no siempre lo hagan.

– *Percepción del riesgo:* Durante el brote de una enfermedad, la población está más sensibilizada hacia la importancia de la higiene y los hábitos protectores son más fáciles de introducir. En situaciones normales, aunque la falta de higiene tenga un impacto importante sobre la salud, la gente está acostumbrada a esta situación y resulta más difícil cambiar el comportamiento.

– *Disponibilidad de instalaciones:* Para apoyar, facilitar y poder adoptar hábitos higiénicos básicos es necesario disponer de agua limpia e instalaciones sanitarias.

La forma de llevar a cabo un programa de promoción de la higiene dependerá básicamente de la identificación de los riesgos sanitarios principales (magnitud y duración) y de la disponibilidad de tiempo para desarrollar la intervención. En tiempos de grandes crisis, cuando se necesita una respuesta de emergencia, la promoción de la higiene debe ser una prioridad, pero buscar cambios permanentes en el comportamiento de las personas en este tipo de intervenciones no es realista. A menudo, el riesgo todavía sigue después del período de emergencia y el programa de promoción de la higiene tiene que adaptarse por medio de un enfoque a largo plazo. Ver Tabla 20.I.

1.3 El ciclo de proyecto de promoción de la higiene

Este capítulo explica los pasos principales, los métodos y las herramientas usadas en la promoción de la higiene en todo ciclo de proyecto desde la identificación de las necesidades hasta la evaluación del programa. La Tabla 20.II muestra las etapas en el ciclo del proyecto de promoción de la higiene.

Tabla 20.I: Promoción de la higiene a corto y largo plazo.

	Crisis repentina	Riesgos a largo plazo
Creencias	Poco tiempo para comprender, fácil que se cometan errores.	Indispensable dedicar tiempo para que se comprendan las cosas.
Conocimiento	Es importante diseminar mensajes. Hay que modificar los hábitos aunque la comunidad no tenga el conocimiento necesario: enfatizar el "marketing".	Es imprescindible mejorar el conocimiento para cambiar el comportamiento: enfatizar la enseñanza.
Hábitos actuales	Los cambios no serán duraderos, pero es importante procurar un cambio en los hábitos, al menos durante este período de tiempo.	Es importante analizar los hábitos existentes antes de cambiar el comportamiento.
Percepción del riesgo	Es fácil reaccionar si hay un riesgo importante debido a un cambio súbito de alguna circunstancia, la gente cooperará más.	Será más difícil que las comunidades se percaten del riesgo por estar acostumbradas a la situación.
Instalaciones	Respuesta de emergencia: solución rápida y efectiva. La construcción y rehabilitación son generalmente las prioridades en los programas de emergencia.	Las instalaciones han de estar adaptadas al mantenimiento y a la gestión por las comunidades, quienes han de participar desde el principio del proyecto.

Tabla 20.II: El ciclo del proyecto de promoción de la higiene.

CICLO	FASES	RESULTADOS
	Evaluación Preliminar	Estimación de la incidencia de las enfermedades relacionadas con el agua y la higiene Análisis del contexto físico y social
	Evaluación Detallada	Identificación de las prácticas de riesgo
	Planificación	Selección de las prácticas de riesgo a modificar Selección de los grupos meta Definición del mensaje a transmitir Selección de los canales de comunicación
	Transmisión del mensaje (Implementación)	El mensaje ha de ser Recibido Comprendido Aceptado Adoptado (cambian las prácticas de riesgo)
	Seguimiento	Se responde a la pregunta: ¿Cómo funciona?
	Evaluación	Se contesta a la pregunta ¿Ha funcionado?

2 EVALUACIÓN DE LAS NECESIDADES

Todo proyecto comienza con una evaluación. En las evaluaciones se recoge y analiza la información cualitativa y cuantitativa. En base a este análisis se plantean los objetivos y se planifican las actividades.

Evaluar el comportamiento de las personas es bastante complicado. Una práctica concreta que implique algún tipo de riesgo sanitario puede tener un origen que no se puede explicar a primera vista. Antes de proponer un cambio de costumbres para reemplazar las que consideramos de riesgo, debemos asegurarnos de que el cambio no constituye un problema para la población, ya sea de tipo cultural, económico, tradicional, de sus tabúes, etc. Por eso esta evaluación requiere un cierto tiempo de dedicación así como unos medios adecuados.

La evaluación se hace en tres fases: Preliminar, Detallada (información específica) y Análisis de Resultados.

2.1 Diagnóstico Preliminar

Antes de evaluar temas concretos sobre las prácticas higiénicas de la gente, es preciso saber cuál es la población meta. El diagnóstico preliminar es el proceso que consiste en la detección del problema y la recogida de información de la situación que ayudará a realizar la evaluación detallada. Esta parte de la evaluación de necesidades se ha de adaptar al contexto y a la naturaleza de la población afectada.

2.1.1 DETECTAR UN PROBLEMA

La evaluación debe responder a un problema de salud detectado con anterioridad. Como todas las actividades de promoción de la higiene aspiran a reducir la incidencia de las enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento por medio de la reducción de algunas prácticas de riesgo, la primera información a buscar es la incidencia de esta enfermedad específica para decidir si la intervención es necesaria o no. Una vez establecida la necesidad, hay que determinar hasta qué punto el comportamiento humano es el responsable del problema sanitario (ver Capítulo II).

Esta información preliminar médica y epidemiológica puede hallarse en instituciones sanitarias (hospitales, centros de salud, ministerio relacionado, etc.) o en otras partes (otras agencias que trabajan en la salud, autoridades locales, curanderos tradicionales, etc.).

2.1.2 DEFINIR EL ÁREA OBJETIVO

La etapa siguiente consiste en definir el área física y la población con el problema y dónde se deben buscar los comportamientos higiénicos a evaluar.

La información necesaria para definir un programa de educación y promoción de la higiene está relacionada principalmente con temas sociales. Antes de realizar una investigación en profundidad, se necesitará alguna información general referente a las personas que viven en el área que se va a evaluar; lenguas que se hablan, grupos étnicos, religión, política, tabúes, contactos previos, mecanismos de respuesta, mercados, información sobre los géneros, autoridades tradicionales, etc. Resulta útil tener información desglosada por géneros (p.ej. lo que se refiere a los hombres, a las mujeres y a ambos).

Esta información suministra una base de datos que crecerá después con la evaluación detallada y el seguimiento del programa.

2.1.3 TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO

La información para el diagnóstico se recoge como sigue:

– Antes de ir al campo: información de internet, de los medios de comunicación, de otras organizaciones trabajando en la misma zona, etc.

– Sobre el campo: usando algunas técnicas de la evaluación en detalle, como entrevistas con personas clave, recorridos informativos (ver Sección 2.3).

2.1.4 PLANIFICACIÓN DE LA EVALUACIÓN DETALLADA

La última etapa del diagnóstico preliminar consiste en planificar la evaluación detallada a realizar antes de la implementación. Esta planificación incluye el calendario, el presupuesto y el reclutamiento del equipo de la evaluación. Para este tipo de programa, el presupuesto y el tiempo necesario para llevar a cabo una buena evaluación de necesidades son mayores que para un programa de obras, y el tiempo requerido para determinar asuntos sociales y culturales es todavía superior.

2.2 Evaluación detallada de necesidades

La evaluación detallada es la que investiga las prácticas higiénicas mediante una serie de técnicas, como la discusión con grupo focal y otras herramientas participativas, que se utilizan durante largos períodos de tiempo, o encuestas dirigidas como las CAP que son más que un simple estudio. La evaluación detallada da una idea de las prácticas higiénicas clave de riesgo en un área objetivo. Además, pueden resaltar la necesidades de mejorar las infraestructuras o sugerir modificaciones a un

programa en curso; en cualquier caso, este estudio debe identificar las soluciones provisionales que mejoren la higiene en ausencia de mejoras en la infraestructura.

2.2.1 LO QUE HAY QUE BUSCAR

Las principales cuestiones a determinar durante la evaluación detallada son:

– ¿Cuáles son las principales enfermedades de la población? ¿Cuál es la incidencia de las enfermedades diarreicas?

– ¿Cuáles son las prácticas de mayor riesgo para las personas?

– Entre estas prácticas, ¿cuáles son las más corrientes y las más fáciles de modificar por otras nuevas (seguras)?

– ¿Qué ventajas se perciben entre éstas más seguras, dentro de la comunidad?

– ¿Quién realiza estas prácticas de riesgo y quién tiene influencia sobre ellas?

– ¿Qué medios de comunicación serían más fiables para transmitir mensajes sobre la promoción de la higiene?

2.2.1.1 IDENTIFICACIÓN DE PRÁCTICAS DE RIESGO

A la hora de decidir el tipo de programa adecuado para resolver el problema, hay que identificar las vías de propagación de las enfermedades representativas de los principales riesgos sanitarios. P.ej., si el problema es que no hay instalaciones sanitarias y se encuentran heces en las inmediaciones de las casas, la construcción de letrinas puede ser parte de la solución. Si el punto de agua suministra agua potable que se contamina luego en las casas, habrá que promover prácticas adecuadas para el transporte y manejo del agua.

A modo de ejemplo la Figura 20.3 indica varias vías de transmisión de infecciones fecal-oral y muestra dónde se puede tomar acción para evitar la propagación.

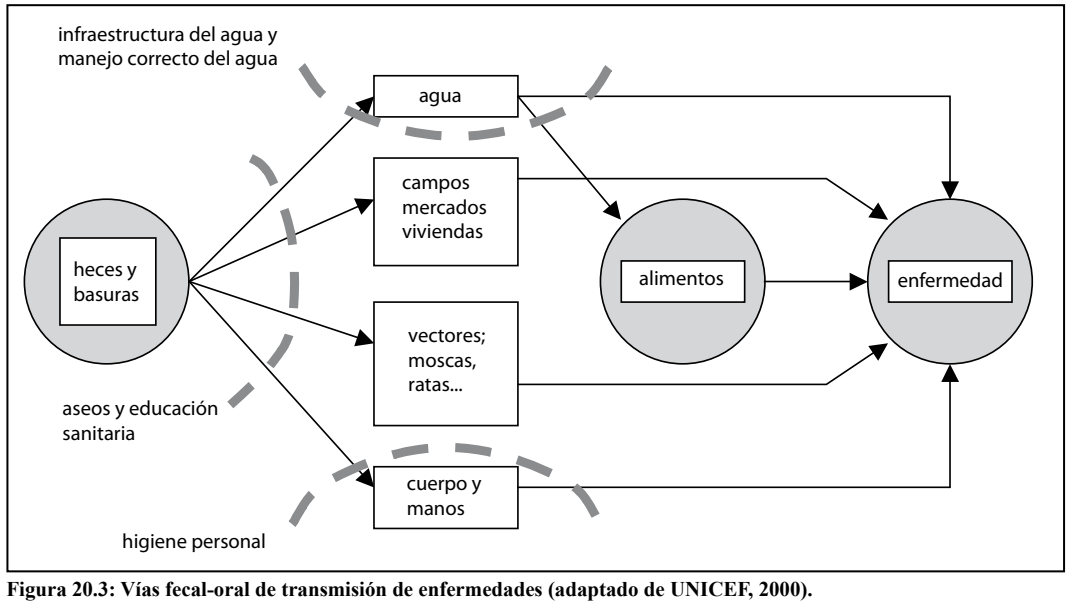


Figura 20.3: Vías fecal-oral de transmisión de enfermedades (adaptado de UNICEF, 2000).

Las principales prácticas de riesgo asociadas al agua y saneamiento ambiental (incluyendo el contagio de enfermedades por vía fecal-oral mostrado en la Figura 20.3) se pueden clasificar como sigue:

- Control de excrementos: como las heces son la causa principal de enfermedades diarreicas, la solución más efectiva consiste en separar los excrementos de los lugares donde viven y trabajan las personas. Si esto se hace de forma adecuada y los contactos entre los excrementos y el ambiente humano se minimizan, se resolverá una buena parte del problema. La falta de retretes no conlleva sistemáticamente la recogida antihigiénica de excrementos. En algunos sitios con baja densidad de población, hay espacio suficiente para enterrar los excrementos en el campo y evitar que contaminen a las personas y el medio ambiente.
- El lavado de manos: si las manos no se lavan correctamente con agua y cenizas o jabón tras haber estado en contacto con excrementos, serán una vía importante de contagio de enfermedades.
- Agua segura: la higiene no será posible sin la cantidad suficiente de agua segura, pero el agua puede convertirse en un vehículo peligroso de contagio si no se usa correctamente. Aún cuando el agua sea de buena calidad en el origen, únicamente si hay un procedimiento seguro de recogida, transporte y almacenamiento podrá beberla la población sin exponerse a riesgo sanitario alguno. Si no se puede garantizar la calidad en el origen, hervirla o filtrarla puede ser una práctica para proteger la salud.
- Control de vectores: las moscas son vectores importantes de transmisión de patógenos desde las heces a los alimentos. La mejor manera de reducir esta transmisión es mejorar el control de excrementos con letrinas o retretes, con un foso debidamente cubierto o con una fosa séptica. Los mosquitos, las ratas y los piojos son ejemplos de vectores transmisores de diferentes enfermedades.
- Higiene en los alimentos: las bacterias patógenas pueden proliferar en los alimentos, especialmente en climas húmedos y cálidos. Esta es una razón por la que hay un aumento de casos de diarrea principalmente en la estación de lluvias en países tropicales. El uso descuidado de biberones, guardar comida sin refrigerar o cocinar con las manos sucias son ejemplos de prácticas de riesgo con alimentos que se deben evitar.
- Higiene ambiental y doméstica: la presencia de basuras, charcos de agua, polvo, etc. crean condiciones para la proliferación de vectores. El agua estancada favorece a los mosquitos, por lo que promueve la propagación de la malaria.

2.2.1.2 DEFINIR LOS GRUPOS META

Los grupos meta son los grupos de gente a los que va dirigido el programa de promoción de la higiene. Pueden clasificarse en tres clases de grupos: primarios, secundarios y terciarios.

Los grupos meta primarios son los que presentan prácticas de riesgo (p.ej. madres e hijos). Los secundarios son sus contactos inmediatos, los que influyen sobre ellos (p.ej. padres, suegras, compañeros de clase). Los grupos meta terciarios son muy importantes y están compuestos por líderes de opinión en la comunidad (p.ej. líderes religiosos, políticos y tradicionales, así como los más viejos). Otros factores a considerar a la hora de identificar los grupos meta son:

- Vulnerabilidad: algunos grupos de personas son más vulnerables a los riesgos sanitarios (niños, mujeres, etc.).
- Aceptación e impacto: los niños y las mujeres son más propensos a interesarse por los asuntos de la higiene y es más fácil introducir cambios a través de ellos que de los hombres.
- Capacidad y recursos: la introducción de cambios en el comportamiento requiere trabajar codo con codo con las personas afectadas. Esto requiere un esfuerzo que no siempre se puede realizar con toda la población y en este caso se debe dar prioridad a los grupos más vulnerables.

2.2.1.3 DEFINICIÓN DE LOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN A USAR

Es importante saber cuáles son los canales de comunicación preferidos por la población meta y cuáles pueden tener mayor impacto en la promoción de nuevas prácticas seguras. Para ello hay que hacerse algunas preguntas:

¿Cuál es el medio de comunicación más común entre la población objetivo?

¿Cuáles son las diferentes formas de relacionarse verbalmente, en reuniones, celebraciones o actos religiosos?

¿Quién escucha la radio y ve la televisión regularmente? ¿Leen periódicos?

¿Qué proporción de la población sabe leer?

¿Qué medios de comunicación resultan más fiables para la población?
¿Hay formas tradicionales de comunicación como la música, teatro o baile, que puedan usarse para transmitir mensajes?

2.2.2 ORGANIZAR EL PLAN DETALLADO DE EVALUACIÓN

El plan de investigación es un plan detallado para el estudio pormenorizado basado en el esquema y resultados del diagnóstico preliminar. Comprende una serie de preguntas a responder durante el proceso, que se formulan específicamente para ajustarse a la población afectada. Hay que seleccionar el equipo que realizará el trabajo.

Lista de preguntas para la investigación

Hay que preparar una lista de preguntas para la evaluación. Lo mejor es confeccionar esta lista en equipo. La lista se tiene que ceñir a cuestiones relacionadas estrechamente con la promoción de la higiene; de otro modo, será difícil gestionar la recogida de información. Una vez preparada la lista de preguntas, hay que seleccionar los métodos adecuados para responderlas. La Tabla 20.III da una lista típica de peguntas.

2.3 Técnicas de investigación

No basta con describir las prácticas higiénicas existentes, tales como vertido de excrementos o basuras, sin investigar las limitaciones físicas, sociales, culturales o económicas existentes localmente y que hacen que la gente se comporte como lo hace. El personal local que participa en el estudio debe involucrarse en la investigación, análisis e interpretación de su propia situación. Esto es importante porque así tendrán un interés en (y sentido de la propiedad de) la información recogida y puede que desarrollen un interés en el uso de los resultados del estudio si se les presentan de forma asequible.

Lo primero que hay que hacer cuando se realiza una encuesta es definir la escala de la investigación, que depende del tamaño del área objetivo; cuanto más grande y variada sea, mayor será el estudio necesario. Una norma habitual consiste en seguir con la investigación hasta que ya no se aprenda nada nuevo.

Otro factor en la elección del tamaño de la muestra va relacionado con la ambición del programa que se propone. No sería razonable gastar mucho tiempo y recursos en una investigación que conduce a una intervención de poca entidad. Pero escatimar recursos en una evaluación detallada puede conducir a errores graves, desperdicio de esfuerzos y desmoralización de los participantes.

Más adelante se relacionan unos métodos y técnicas que se pueden usar para las evaluaciones detalladas. No es preciso usarlos todos. Los que se elijan dependerán de la capacidad de poderse usar por el equipo del estudio. Los métodos propuestos en este capítulo son complementarios y usando varios de ellos se podrá hacer una verificación de la información recogida.

2.3.1 PASEO SANITARIO

El objetivo de este método consiste en hacerse una idea rápida del medio en el que tienen lugar los comportamientos que afectan la higiene. Este método es en realidad una visita bien preparada a un asentamiento sin realizar una investigación formal. Puede tener una duración de entre una y tres horas, y durante la visita dos o tres trabajadores de campo se pasearán por el asentamiento. Observarán las prácticas higiénicas y las interacciones entre las personas y hablarán con algunas de estas personas que encuentren durante el paseo.

Es conveniente realizar los paseos sanitarios durante las horas en las que tengan lugar la mayoría de las prácticas higiénicas (a primera hora del día y al final). El paseo sanitario se debe realizar por los sitios donde tengan lugar las prácticas higiénicas más importantes, como los puntos de agua, letrinas, lavaderos, mercados, alrededores de las casas, sitios de juego de los niños, lugares de acceso público, etc.

Tabla 20.III: Ejemplo de preguntas para una evaluación de promoción de la higiene.

Asuntos	Prácticas Lo que hace la gente	Conocimientos Lo que sabe la gente	Recursos Lo que hay disponible
Enfermedades	-Incidencia de la diarrea -Enfermedades principales (enfermedades diarreicas, malaria, de la piel etc.)	-¿Cuáles son las causas de las enfermedades notificadas? -Cómo evitar y tratar las enfermedades	-Hospitales, centros de salud, etc.
Agua	-Origen del agua potable -Limpieza del punto de agua -Limpieza de recipientes utilizados para recogida, transporte y almacenamiento -¿Trata la gente el agua potable? (hervir, filtrar, sedimentar, etc.) -Contacto agua-persona (¿toca la gente el agua que va a usar?) -Calidad del agua (sabor, color, contaminación fecal, etc.)	-Tipo de agua preferido, ¿por qué? -Relación agua-enfermedades	-Instalaciones de agua -Medios para tratar el agua: maderas, pava con silbato, filtros. -Recipientes para recogida, transporte y almacenamiento -Productos y útiles de limpieza
Comida	-Conservación y protección de los alimentos -Manejo y lavado de los alimentos	-¿Dónde guarda la gente la comida? -¿Está protegida del calor, de las moscas, etc.?	-Sitios frescos -Despensas
Recogida de excrementos	¿Dónde defeca la gente? Presencia de excrementos en el hábitat humano. Uso y estado de conservación de las letrinas Lavado anal	Relación heces-enfermedades Ventajas del uso de letrinas	Letrinas/retretes Disponibilidad de artículos de limpieza
Higiene y saneamiento ambiental	Limpieza del entorno, presencia de basuras. Charcos de agua, recogida de aguas residuales ¿Cómo se deshace la gente de la basura? (incineración, hogueras, nada)	Enfermedades causadas directa o indirectamente por agua estancada Riesgos por la existencia de basuras	Sistemas de desagüe y alcantarillado Sistema de recogida y vertido de basuras Disponibilidad de artículos de limpieza
Higiene personal	¿Se lava las manos la gente? Antes de comer Tras la defecación Antes de cocinar Tras cambiar un niño ¿Qué usan para lavarse las manos? (jabón, cenizas, agua sola) ¿Cuando se ducha/baña la gente? ¿Dónde cuelga la gente la ropa?	Ventajas del lavado de manos y de la higiene personal en general.	Jabón Agua limpia Instalaciones: duchas, lavaderos, tendederos Cortaúñas
Control de vectores	Presencia de moscas, piojos, mosquitos, ratas, etc. en el entorno humano.	Peligro causado por los vectores.	Mosquiteras Venenos y ratoneras

Durante la visita, un miembro del equipo toma notas y, al final, el equipo se reúne.

Este método permite adquirir rápidamente un conocimiento de la gente y de su entorno, pero la información así recogida ha de tratarse con precaución, ya que es el resultado de una impresión somera y superficial que puede inducir a error.

Para mejorar la efectividad del método, sería una buena idea decidir los sitios más importantes a visitar y organizar observaciones estructuradas sobre las instalaciones sanitarias y los comportamientos que allí se desarrollan.

2.3.2 OBSERVACIONES ESTRUCTURADAS

Este método es adecuado cuando los objetivos de la investigación son claros y concretos y cuando hay poco tiempo para el estudio. Las observaciones, que se han de hacer tras la definición de la lista de lo que hay que observar, se pueden hacer durante los paseos sanitarios y entrevistas.

El énfasis de la observación se pone en:

– *Puntos de agua*: situación y estado de conservación de las instalaciones de agua, prácticas higiénicas alrededor de las mismas:

- Limpieza del punto de agua, ¿está bien mantenido? ¿hay un buen desagüe? Acceso de animales al punto de agua, presencia de basuras o excrementos en las inmediaciones.
- Recogida de agua: sistema usado (bomba, cuerda y cubo, contacto persona-punto de agua, ¿usa el mismo cubo todo el mundo, o cada uno trae su propio cubo? ¿limpia la gente el recipiente antes de usarlo?), limpieza del sistema de recogida.
- Manejo del agua: contacto persona-agua a lo largo del proceso de recogida/transporte/almacenamiento.
- Transporte del agua: recipiente usado y estado de limpieza.

– *Instalaciones sanitarias*: ¿donde defeca la gente? Estado de las letrinas (si las hay), ¿se usan? Disponibilidad de agua en las proximidades de las letrinas.

– *Aspecto de la gente*: estado de limpieza de las manos, el cuerpo y la ropa, ¿se percibe alguna enfermedad de la piel? Contacto físico entre las personas.

– *Entorno de la comunidad y espacios públicos*: limpieza general, existencia de heces cerca de las viviendas, charcos de agua, basureros, existencia de moscas y mosquitos, presencia de animales, contactos animales-personas, etc.

– *Viviendas*: estado de limpieza, espacio disponible por persona, recipiente usado para almacenar el agua, ¿es el mismo que el usado para el transporte? ¿está tapado? ¿pone/puede poner la gente las manos en el interior? La despensa, ¿es fresca? ¿está protegida contra las moscas y las ratas? Aireación, olores, humedad en las casas, existencia de mosquiteras.

La lista debe saberse de memoria para estar seguros de que la observación pasa lo más inadvertida posible y se minimizan los riesgos de ejercer influencia sobre el comportamiento de la gente.

El observador toma notas que se discutirán con el resto de los integrantes del equipo y la información obtenida se verificará con la obtenida por otros medios. Si el observador es bastante sagaz y riguroso, los datos obtenidos por este método serán más objetivos y fiables que la información secundaria obtenida con los informes de otras personas.

2.3.3 ENTREVISTAS CON INFORMADORES CLAVE

El método es adecuado para obtener información específica sobre asuntos relacionados con la higiene. Consiste en entrevistar a gente supuestamente conocedora de los asuntos relacionados con la higiene, el saneamiento y el agua. Los informadores típicos sobre estos asuntos pueden ser:

– Trabajadores sanitarios
– Personal de otras agencias que trabajan en la zona
– Autoridades tradicionales y los más viejos de la comunidad
– Personal de los ministerios relacionados con la salud o el agua

Durante la entrevista, el entrevistador menciona el punto de interés y luego deja que el entrevistado tome la iniciativa y siga con la entrevista. Si la persona es realmente conocedora del asunto, será un informador clave.

Este método es bueno para profundizar en temas relacionados con las prácticas higiénicas o sobre las particularidades del contexto, pero los entrevistadores han de permanecer alerta sobre los posibles prejuicios que puedan influir sobre los resultados del estudio, especialmente si el número de informadores clave es escaso.

2.3.4 ENCUESTA CAP

La encuesta CAP (Conocimientos, Actitudes y Prácticas) es un método que permite evaluar las necesidades y el impacto del programa de promoción de la higiene. Este método se lleva a cabo con entrevistas estructuradas, que permiten obtener resultados cuantitativos que, a su vez, pueden analizarse de forma estadística.

2.3.4.1 ENCUESTA CAP ENFOCADA AL ESTUDIO EXHAUSTIVO DE LOS COMPORTAMIENTOS DE HIGIENE DE UNA POBLACIÓN

Este tipo de encuesta, el más común, tiene toda su importancia cuando se trata de evaluar los comportamientos relacionados con el agua, saneamiento e higiene de una población desconocida, a la apertura de una base o de un programa en una zona poco conocida por la organización. Los cuestionarios empleados son generalmente largos, exhaustivos, contienen numerosas preguntas que exploran los posibles tabúes de la población, que tipo exacto de puntos de agua o de letrina se usan en la zona, y los varios casos que pueden presentarse. También puede usarse para hacer el seguimiento del impacto de un programa realizando la misma encuesta antes y después del proyecto, aunque en este caso habría que cuidar la manera de presentar los datos para que puedan ser comparables fácilmente. Un ejemplo de un cuestionario hecho por ACF-Fr en Nepal se puede apreciar en el cuadro 20.1.

2.3.4.2 ENCUESTA CAP ENFOCADA A LA MEDIDA DEL IMPACTO DE UN PROYECTO WASH

Este tipo de encuesta CAP tiene como objetivo principal la medida de unos indicadores que demuestran el impacto de un proyecto WASH. Su formato facilita la comparación de los resultados antes/después del proyecto, imprescindible para medir los efectos y el impacto obtenido. Este formato de encuesta, con un número de preguntas reducido, puede usarse en caso de emergencia, o cuando los comportamientos de higiene y el entorno WASH de una zona son ya conocidos. A continuación se presenta un cuestionario estándar que se puede usar para este tipo de encuesta CAP. El cuestionario correspondiente tiene la particularidad que los encuestadores deben estar muy bien formados, porque en muchas de las preguntas tienen que:

- analizar las respuestas de la persona encuestada;
- contrastar lo que se dice con un control visual directo;
- clasificar la respuesta en categorías sencillas estándar (por ejemplo "punto de agua protegidos", "parcialmente protegido" o "sin proteger"), facilitando la comparación de los datos en el tiempo, o aún entre lugares distintos.

La mayoría de los indicadores elegidos en este cuestionario son una síntesis de los indicadores WASH propuestos en el capítulo 2, sección 2.5.2 Tipos de información. Las respuestas estándar que se refieren a los puntos de agua y las infraestructuras de saneamiento son las del JMP (Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation), usados por UNICEF y WHO para medir los progresos de los Objetivos del Milenio[1].

1. Para más información ver el informe "Progress on Drinking Water and Sanitation Special Focus on Sanitation", UNICEF/WHO, 2008, o la página web www.wssinfo.org/

Cuadro 20.1.
Ejemplo de un cuestionario usado en Nepal (ACF-Fr 2007)

Información general

Distrito: ☐ Mugu ☐ Humla VDC: _____
Comunidad/aldea: GPS: X= _____ Y= _____
Población (a verificar con F. sec): _____ Vivienda :_____
Entrevistado
Grupo de casta:_____
☺ Género: ☐ mujer ☐ hombre Edad:_____
Nivel de estudios: ☐ no ha ido a la escuela ☐ apenas sabe leer ☐ primaria (<+5)
☐ secundaria inicial (<+7)
☐ secundaria (< +10)
Número de hijos: _____ Número de personas en la vivienda: _____

Suministro de agua

Fuentes de suministro

☺ ⏩ 1 ¿Dónde recoge el agua?

	Fuente de grifos (captación de manantial)	Fuente de grifos (captación agua superficial)	Fuente de grifos (acequia de riego)	Manantial sin cámara de captación	Manantial con cámara sin proteger	Manantial con cámara protegida	Arroyo	Río	Acequia de riego	Canal del molino
Estación seca	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Estación de las lluvias	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

2 ¿Tiempo empleado en ir y volver desde casa hasta el punto de agua? (Minutos)
Estación seca:_____ Estación de las lluvias:_____

3 ¿Tiempo medio de espera en el punto de agua para cargar agua? (Minutos)
Estación seca:_____ Estación de las lluvias:_____

☺ 4 ¿Estado de conservación del punto de agua?
Estación seca: ☐ limpio ☐ sucio ☐ muy sucio
Estación de las lluvias: ☐ limpio ☐ sucio ☐ muy sucio

5 ¿Dónde abreva el ganado?
Estación seca: ☐ en el mismo punto de agua ☐ cerca ☐ en un canal de riego ☐ otros _____
Estación de las lluvias: ☐ en el mismo punto de agua ☐ cerca ☐ en un canal de riego ☐ otros _____

Transporte del agua potable

⏩ 6 ¿Quién lleva el agua a casa? ☐ madre ☐ padre ☐ niños ☐ niñas ☐ abuelos

☺ 7 ¿Hay un recipiente concreto para el transporte de agua? ☐ no ☐ sí

☺ ¿Número diario y volumen (litros) de los recipientes de transporte?

8 Número: _____ vasija metálica _____ bidón de plástico _____ otros

9 Volumen: _____ vasija metálica _____ bidón de plástico _____ otros

10 ¿Se lava el recipiente y con qué frecuencia? ☐ nunca ☐ a diario ☐ semanalmente ☐ mensualmente

11 ¿Cómo se lava el recipiente? ☐ solo con agua ☐ con agua y jabón ☐ con agua y cenizas ☐ con barro y agua ☐ estiércol y agua ☐ otros

Almacenamiento de agua potable

☺ 12 ¿Hay algún recipiente en concreto para guardar el agua potable? ☐ no ☐ uno ☐ dos ☐ más de dos

☺ 13 Tipo de recipiente ☐ vasija metálica ☐ bidón de plástico ☐ otros

14 ¿Se lava el recipiente y con qué frecuencia? ☐ nunca ☐ a diario ☐ semanalmente ☐ mensualmente

15 Si se limpia, ¿con qué? ☐ solo con agua ☐ con agua y jabón ☐ con agua y cenizas ☐ con barro y agua ☐ con estiércol y agua ☐ otros

☺ 16 ¿Está limpio el recipiente para guardar el agua? ☐ no ☐ sí

☺ 17 ¿Huele el recipiente para guardar el agua? ☐ no ☐ sí (leche, aceite, _____)

☺ 18 ¿Se tapa el recipiente para guardar el agua? ☐ no ☐ sí

☺ 19 ¿Dónde se pone el recipiente para guardar el agua? ☐ en el suelo ☐ en una estantería ☐ otros

⏩ 20 ¿Se trata el agua antes de beberla? ☐ no ☐ se hierve ☐ se filtra ☐ se espera a que decante (Minutos)_____

☺ 21 ¿Cómo se saca agua del recipiente? ☐ con un cazo ☐ con un vaso sin mango ☐ con las manos ☐ se vierte del recipiente en un vaso

Higiene & Saneamiento

⏩ 22 ¿Dónde defeca? ☐ cerca de casa ☐ en el campo/bosque ☐ orilla del río ☐ en una acequia de riego ☐ letrina privada ☐ en la letrina de un vecino

⏩ ¿Dónde defeca la familia?
23 Adultos: ☐ cerca de casa ☐ en el campo ☐ orilla del río ☐ en una acequia de riego ☐ letrina privada ☐ en la letrina de un vecino

24 Niños: ☐ cerca de casa ☐ en el campo ☐ orilla del río ☐ en una acequia de riego ☐ letrina privada ☐ en la letrina de un vecino

☺ 25 ¿En qué estado se halla la letrina ? ☐ la losa está limpia ☐ la losa está sucia ☐ el foso está lleno ☐ se derrumbó el foso ☐ el agujero tiene tapa

¿Usa agua cuando va a defecar?
26 ¿Para qué? ☐ para lavar la letrina ☐ para el lavado anal
27 ¿Con qué? ☐ con una vasija para este uso ☐ con un utensilio de cocina

28 ¿Quién se encarga del mantenimiento/limpieza de las letrinas? ☐ madre ☐ padre ☐ niños

⏩ 29 ¿Tuvo alguna vez una letrina y por qué dejó de usarla? ☐ se llenó el foso ☐ se estropeó ☐ no me acostumbré a usarla ☐ me obligaron a construirla

▸▸ 30 ¿Le crea problemas compartir la letrina con los vecinos? ☐ no ☐ se pierde intimidad ☐ problema de castas ☐ problemas de limpieza ☐ no con mi familia ☐ otros

31 ¿Qué se hace con las heces de los bebés? ☐ se tiran a la letrina ☐ enterrados ☐ los pañales se lavan con agua y jabón ☐ nada en particular ☐ Otros: _____

▸▸ 33 ¿Cuándo se lava las manos? ☐ antes de cocinar ☐ después de cocinar ☐ antes de comer ☐ después de comer ☐ después de defecar ☐ después de lavar un bebé ☐ después de tocar animales ☐ después de trabajar

▸▸ 34 ¿Qué usa para lavarse las manos? ☐ no me las lavo ☐ solo agua ☐ agua y jabón ☐ agua y cenizas ☐ otros_____

▸▸ 35 ¿Por qué no usa jabón para lavarse las manos? ☐ no hay ☐ es caro ☐ no tengo la costumbre

▸▸ 36 ¿Por qué se lava las manos tras defecar? ☐ porque huelen ☐ evitar enfermedades ☐ costumbre ☐ otros_____

37 ¿Qué hace después de desechar las heces del bebé? ☐ me lavo las manos con agua ☐ me lavo las manos con agua y jabón ☐ me lavo las manos con agua y cenizas ☐ Nada

38 ¿Con qué frecuencia se baña?

	verano			invierno		
	Nunca, razón	semanalmente	mensualmente	Nunca, razón	semanalmente	mensualmente
Madre	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Padre	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Niños	☐	☐	☐	☐	☐	☐

39 ¿Quién se encarga de la higiene de los hijos? ☐ madre ☐ padre ☐ abuela ☐ abuelo

40 ¿Con qué frecuencia se lava la ropa?

	verano				invierno			
	Nunca, razón	Semanal-mente	mensual-mente	De vez en cuando	Nunca, razón	semanal-mente	mensual-mente	De vez en cuando
adultos	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
niños	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Gestión de la vivienda

☺ ▸▸ ¿Qué hace la familia con los desperdicios?

41 Resíduos animales: ☐ vertedero comunitario ☐ fosos ☐ compostaje ☐ se tiran

42 Resíduos vegetales: ☐ vertedero comunitario ☐ fosos ☐ compostaje ☐ se tiran

43 Resíduos inorgánicos: ☐ vertedero comunitario ☐ fosos ☐ incineración ☐ se tiran

☺ 44 ¿Qué hace la familia con las aguas residuales? ☐ se riega el huerto ☐ se tiran cerca de casa ☐ se escurren a cualquier sitio

☺ ▸▸ 45 ¿Cómo son los alrededores de la casa? (el encuestador debe verificar) ☐ limpio ☐ hay agua estancada ☐ hay moscas ☐ hay basuras ☐ hay excrementos animales ☐ hay ganado cerca

☺ 46 ¿Dónde está el establo? ☐ en la planta baja de la casa ☐ hay un establo separado de la casa ☐ no hay establos

☺ 47 ¿Cómo se limpian los cacharros de cocina? ☐ agua ☐ agua y jabón ☐ agua y ceniza ☐ agua y estiércol ☐ agua y paja

☺ 48 ¿Dónde se guardan los cacharros de cocina? ☐ estanterías ☐ en el suelo ☐ en estanterías de la despensa ☐ estantes en la pared

☺ 49 ¿Se tapa la comida una vez cocinada? ☐ no ☐ hay una tapa limpia ☐ la tapa está sucia

☺ 50 ¿Está tapada la comida fresca? ☐ no ☐ la tapa está limpia ☐ la tapa está sucia

☺ 51 ¿Se lavan con agua las verduras frescas? ☐ no ☐ a veces ☐ siempre

☺ 52 ¿Hay una cocina bien instalada? ☐ no ☐ sí, tiene chimenea ☐ sí, pero sin chimenea

Temas sanitarios

53 ¿Cree que el humo/polvo pueden originar enfermedades? ☐ no ☐ no se ☐ sí

▸▸ 54 ¿Cree que el agua transmite enfermedades? ☐ no ☐ no se ☐ da problemas respiratorios ☐ da problemas a los ojos ☐ da diarrea ☐ da fiebre ☐ da gusanos ☐ da problemas de piel ☐ da resfriados

55 ¿Cree que las moscas pueden transmitir enfermedades? ☐ no ☐ no se ☐ sí

56-¿Cree que los alimentos pueden transmitir enfermedades? ☐ no ☐ no se ☐ sí

57 ¿En el último mes, cuántos niños menores de 5 años han tenido diarrea (=3 deposiciones líquidas o más en 1 día)?

▸▸ 58 ¿Si alguien tiene diarrea, qué hace? ☐ nada ☐ remedios caseros ☐ comprar medicamentos ☐ se lleva a un centro de salud/hospita ☐ se le da un suero ORS

59 ¿Sabe preparar suero ORS en casa? ☐ sí ☐ no

60 ¿Puede prepararlo? ☐ sí ☐ no

61 ¿Lo ha hecho ya? ☐ sí ☐ no

▸▸ 62 ¿Cómo se pueden evitar algunas enfermedades infecciosas? ☐ lavándose las manos ☐ usando letrinas ☐ bebiendo agua segura ☐ hirviendo el agua para beber ☐ filtrando el agua para beber ☐ con buenas prácticas higiénicas ☐ no se ☐ otros

Cuadro 21.2
Cuestionario estándar de una encuesta CAP simplificada, enfocada a la medida de indicadores de impacto de un proyecto WASH. Están incluidos los dos indicadores del Joint Monitoring Program (UNICEF/WHO) sobre la clasificación de los punto de agua y de los sistemas de saneamiento

INDICADORES WASH	PREGUNTAS CORRESPONDIENTES A LA ENCUESTA CAP
	AGUA
La cobertura con puntos de agua protegidos aumentó en un X% en la zona de intervención	¿En qué condición se halla el punto de agua para uso doméstico? (la lista de los ejemplos de punto de agua se debe adaptar según lo que se encuentre en la zona. Los encuestadores tienen que formarse para poder reconocer los puntos de agua protegidos) 1- Protegido (tubería de agua dentro de la casa o del patio, pileta pública, pozo perforado, pozo excavado a mano protegido, manantial protegido, recogida de agua de lluvia) 2- Sin proteger (pozo excavado a mano sin proteger, manantial sin proteger, vendedores de agua con bidones, distribución de agua en camión cisterna, cualquier agua superficial, botella de agua)
El tiempo de recogida de agua se ha reducido en un X% al final del proyecto	¿Cuánto tiempo se tarda en ir al punto de agua, recoger agua y volver a casa, en minutos? (según el indicador buscado, puede ser dividido en 2: distancia y tiempo de espera) Tiempo:_____min Se obtendrán respuestas numéricas que permitirán calcular la media y comparar la media antes/ después del proyecto. Se podrá también clasificar las respuestas numéricas durante el análisis de la siguiente manera: 1- Punto de agua en casa 2- Menos de 15 min 3- Entre 15 min y 30min 4- Mas de 30 min
La cantidad de agua consumida por persona y día aumentó en un X%	¿Cuál es la cantidad total de agua usada por la familia en un día (beber + uso doméstico) en litros? Luego se calcula durante el análisis el volumen/persona/día. Si la persona no puede contestar con precisión y si usan contenedores para ir a buscar el agua, se pueden usar las 2 preguntas siguientes y calcular durante el análisis de los resultados, Vol. x número de viajes/número de personas: - Cuál es el volumen total de los recipientes que usan para recoger el agua, en litros. - ¿Cuántas veces van a recoger agua al punto de agua en un día?
La media del número de E-coli/100 ml de agua en los hogares objetivo se ha reducido en un X% La turbidez del agua potable en los hogares objetivo se redujo en un X%	Toma de muestras de agua (especialmente para análisis bacteriológico, turbidez o cloro) en cada casa encuestada durante el análisis CAP
	SANEAMIENTO
La cobertura con letrinas seguras aumento en un X% en la zona de intervención	¿Dónde defecan los adultos? (comprobar directamente si es posible): 1- En letrinas protegidas (baños con sifón que descargan a una red de alcantarillado/ fosa séptica/ letrinas con foso protegido 2- En letrinas sin proteger (baños con sifón que descargan al aire libre, letrina con foso sin placa, cubo, letrina que descarga en un río) 3- Defecan al aire libre Indicar si las letrinas son compartidas: ☐ familiar ☐ compartida
La cobertura de sistemas de tratamiento de aguas residuales aumento en un X% en la zona de intervención	¿Cómo se manejan las aguas residuales del hogar?: 1- Sin riesgo (hay una red eficaz de canal/tubería con infiltración en el suelo o alcantarillado) 2- Riesgo medio (hay una red básica de canal/tubería hasta un lugar identificado de la casa o cerca de la misma) 3- Riesgo alto (ningún tratamiento, las aguas residuales se tiran en el patio o en la calle)
El número de hogares que practican una gestión segura de los residuos sólidos aumentó en un X%	¿Cómo se manejan los residuos sólidos del hogar? (control directo del encuestador): 1- Sin riesgo: residuos recogidos en un basurero y eliminados (quemados, enterrados, separados, recogidos) 2- Riesgo medio: manejo básico dentro de la casa, pero presencia de residuos en el hogar y su entorno 3- Riesgo alto: ninguna gestión, residuos tirados alrededor del hogar
	HIGIENE
Las prácticas de tratamiento de agua potable en los hogares de los beneficiarios se mejoraron en un X%	¿Tratan el agua para beber dentro de la casa? 1- Agua clorada en casa o clorado centralizado en el punto de agua 2- Agua hervida o filtrada en casa 3- Agua sin tratar
Las condiciones de almacenamiento de agua potable en casa se mejoraron en un X%	¿Cómo almacenan el agua potable en casa? (lista a adaptar según la zona): 1- Sin riesgo (agua se recoge directamente de un grifo de agua corriente, almacenada en un contenedor cerrado instalado en una mesa y equipado con grifo, recipiente cerrado con cuello estrecho), 2- Riesgo medio (almacenada en un contenedor abierto pero el agua no puede ser tocada con las manos cuando se toma) 3- Riesgo alto (Almacenada en un contenedor abierto y el agua puede ser tocada con las manos cuando se toma)
Las prácticas de lavado de manos con jabón antes de la comida en los hogares de los beneficiarios se mejoraron en un X%	¿Los miembros de la familia se limpian las manos con jabón antes de comer? (pregunta + control directo de presencia de jabón) 1- Hay jabón para el lavado de manos accesible para toda la familia cerca del lugar donde la gente come 2- Hay jabón para el lavado de manos, pero está lejos del lugar donde la gente come, y/o poco accesible, y/o tiene obviamente otro uso (fregar platos) 3- No hay jabón para el lavado de manos
Las prácticas de lavado de manos con jabón después de la defecación en los hogares de los beneficiarios se mejoraron en un X%	¿Los miembros de la familia se limpian las manos con jabón después de defecar? (pregunta + control directo de presencia de jabón): 1- Hay jabón dentro o cerca de la letrina, con agua cerca y su uso parece sistemático 2- Hay jabón, pero lejos de la letrina y su uso después de defecar no parece sistemático 3- No hay jabón en las letrinas o cerca de las mismas
El manejo de los excrementos de niños en los hogares de los beneficiarios se mejoró en un X%	¿Cómo se manejan los excrementos de los niños de corta edad? (controlar físicamente si es posible): 1- Sin riesgo (metidos en una letrina, enterrados, mezclados con el agua residual con infiltración óptima…) 2- Riesgo Medio: hay un manejo básico de los excrementos (metidos en lugares específicos, mezclado con la red de agua residual básica…) 3- Riesgo: están fácilmente accesibles y pueden contaminar el entorno

El punto fuerte principal de esta encuesta es la posibilidad de cuantificar resultados y analizarlos sistemáticamente.

La principal limitación es la falta de participación de la gente en la encuesta y la forma dirigida de hacer las entrevistas. Esto implica que los resultados, aunque parezcan buenos desde el punto de vista estadístico, pueden adolecer de prejuicios en las respuestas, especialmente si el entrevistador no tiene la habilidad suficiente para evitarlo. El personal a cargo de la encuesta tiene que estar bien entrenado para obtener la información correcta y respuestas verdaderas a cada pregunta. Por ejemplo, si la gente sospecha que la organización a cargo trabaja en proyectos de agua, la gente puede decir que gastan tres horas al día para recoger agua de baja calidad, aunque no sea exactamente cierto.

Siempre es bueno complementar la encuesta con un método participativo como una discusión con grupo focal.

2.3.4.3 TIPOS DE ENCUESTAS CAP

Encuesta exhaustiva

La encuesta cubre la totalidad de la población. Es la más exacta (se entrevista al 100% de la población), pero es difícil realizarla si la población es elevada (> 500).

Encuestas por muestreo

Estas encuestas se realizan utilizando una muestra representativa de la población. En *una muestra simple al azar,* se escoge arbitrariamente cada una de las familias a entrevistar usando una tabla de números aleatorios. Esto requiere tener una lista de las familias y un plano del asentamiento donde viven las familias.

En *el muestreo sistemático*, la primera familia entrevistada se escoge al azar usando una tabla de números aleatorios; las familias siguientes se designan por pasos de muestra que se obtienen añadiendo un número determinado (paso de muestra) al precedente hasta que se obtiene el tamaño de muestra deseado. El paso de muestra P depende del tamaño de la muestra:

$$P = \frac{n}{N}$$

en la que n es el número de familias en la población meta y N el tamaño de la muestra. El muestreo sistemático también requiere una lista de las familias y un plano del asentamiento.

En el caso de *muestreo por grupos*, apropiado para grandes poblaciones (>5000), se necesita la lista de aldeas del área, o secciones de un asentamiento y sus poblaciones. El principio consiste en determinar el número de familias que constituyen un grupo de acuerdo con un método preciso y localizar luego los grupos de muestreo. Se entrevistan un número fijo de familias dentro de cada grupo.

2.3.4.4 CÁLCULO DE LA MUESTRA

Caso general

$$N = \frac{t^2 (p \times q)}{d^2}$$

en la que N es el tamaño de la muestra; t es un parámetro relacionado con el riesgo de error relacionado con el intervalo de fiabilidad (en encuestas ACF, se supone un intervalo de fiabilidad del 5%, que corresponde a un t = 1,96); p es la "prevalencia esperada" (en las encuestas ACF, se usa un valor de p = 0,5. es decir 50%); q = 1– p, o sea q = 0,5 en las encuestas ACF; d es el grado de exactitud requerido, generalmente 5%, es decir todos los indicadores estudiados caen dentro de un rango de exactitud del 5%.

El nivel de precisión se ha de escoger según el objetivo: si el objetivo es tener una idea del conocimiento de la población para ajustar las acciones sobre la educación a la higiene en el terreno, bastará con una exactitud del 10%. Si se propone resaltar un cambio significativo importante en la población, es importante tener mayor exactitud, lo que requiere una muestra mayor y, por tanto, más tiempo y recursos. El problema consiste en compaginar la viabilidad operativa con el rigor metodológico.

Casos particulares

Las encuestas de grupo pueden disminuir la representatividad de la muestra. Las familias de cada grupo son vecinas y pueden tener, por tanto, semejanzas en las características estudiadas. Esto se llama efecto de grupo y la muestra se ha de duplicar para contrarrestar este efecto. Se puede aplicar un factor de corrección cuando el tamaño de la muestra alcanza la décima parte de la población meta (la muestra es grande en relación con la población). En este caso:

$$Nr = \frac{N}{1 + (N/n)}$$

en la que Nr es el tamaño de la muestra corregida, N el tamaño de la muestra calculada con la fórmula general y n el tamaño de la población meta (número de familias en la población meta).

2.3.4.5 EJEMPLOS

Aldea de 80 familias

El número de gente es bajo, las casas están concentradas y se ha hecho un plano de la aldea. En este caso se puede hacer una encuesta exhaustiva.

Aldea de 1000 familias

El número de gente es demasiado elevado para una encuesta exhaustiva. Por tanto, se realiza un *muestreo simple al azar*:

– *Primer paso*: hacer una relación de las familias, numerarlas (del 1 al 1000) y dibujar un plano de la aldea;

– *Segundo paso*: tamaño de la muestra: $N = 1{,}96^2\ (0{,}5 \times 0{,}5)/0{,}05^2 = 376{,}16$ (exactitud del 5%). El tamaño de la muestra es grande comparado con el número de familias objetivo (N > n/10); por tanto se puede corregir de modo que Nr = 376,32 / [1 + (376,32/1 000)] = 273,4, redondeando a 274;

– *Tercer paso*: escribir 274 números de la tabla de números aleatorios que van a corresponder a las familias a entrevistar (274 de las 1000 familias van a ser encuestadas).

Como la escritura de 274 números de la tabla de números aleatorios es bastante larga, se puede siempre recurrir al *muestreo sistemático al azar*:

– *Primer paso*: escribir el número de familias, numerarlas (del 1 al 1000) y hacer un plano de la aldea;

– *Segundo paso*: tamaño de la muestra: Nr = 274;

– *Tercer paso*: cálculo del paso de muestra: P =1000/274= 3,64, redondeo a 3;

– *Cuarto paso*: tomar un número de origen al azar, de la tabla de números aleatorios – por ejemplo 25 para empezar con el paso de muestra (número entre 1 y 1000)

– *Quinto paso*: determinar el número que corresponde a las familias a encuestar como sigue:

1ª familia = número 25
2ª familia = número 25 + 3 = 28
3ª familia = número 28 + 3 = 31 y así sucesivamente hasta obtener 274 familias.

Población de 8000 familias

La población está dispersa por varios sectores de la misma ciudad o por varias aldeas. En este caso el *método de muestreo por grupos* es el más adecuado:

– *Primer paso*: determinar el número de familias objetivo, en este caso 8000;

– *Segundo paso*: calcular el tamaño de muestra: $N = 2 \times 1{,}96^2 \times (0{,}5 \times 0{,}5)/0{,}1^2 = 192$, que se redondea a 210 para trabajar con 30 grupos de 7 personas cada uno (modelo de la OMS usado para los estudios de vacunación);

– *Tercer paso*: cálculo del paso de muestra: P=8000/30=266,6, redondeo a 266;

– *Cuarto paso*: cálculo acumulado de la población por aldea:

Número de familias	Número acumulado de familias	
Aldea 1	500	500
Aldea 2	300	500 + 300 = 800
Aldea 3	350	800 + 350 = 1150
Aldea 4	1 000	1150 + 1000 = 2150, etc.
TOTAL	8000	8000

– *Quinto paso*: escribir el primer grupo de la tabla de números aleatorios Este número estará entre 1 y P, o sea, entre 1 y 266 – por ejemplo 150; éste es el intervalo de muestreo. En nuestro ejemplo, la población de la aldea 1 incluye 150 (150 < 500) y da el primer grupo;

– *Sexto paso:* determinación de los demás grupos a entrevistar añadiendo el paso de muestra a 150: 150 + 266 = 416. El segundo grupo está también incluido en la misma aldea 1; continuar hasta que se obtengan los 30 grupos:

	Nº de familias	Nº acumulado de familias	Numeración de las familias	Nº de grupos seleccionados/aldea
Aldea 1	500	500	1 a 500 (150; 150 + 266 = 416)	2
Aldea 2	300	500 + 300 = 800	501 a 800 (416 + 266 = 682)	1
Aldea 3	350	800 + 350 = 1 150	801 a 1 150 (682 + 266 = 948)	1
Aldea 4	1 000	1 150 + 1 000 = 2 150	1 151 a 2 150 (948 + 266 = 1 214 1 214 + 266 = 1 480 1 480 + 266 = 1 746 1 746 + 266 = 2 012), etc.	4
TOTAL	8 000	8 000	8 000	30

Séptimo paso: seleccionar las familias a encuestar dentro de cada grupo. Para cada grupo, dirigirse al centro de la aldea (7 familias por grupo, ver segundo paso). La dirección a seguir se obtiene haciendo girar una botella o lápiz, marchando en la dirección de caída y escogiendo las casas una tras otra: la primera se escoge al azar y las siguientes son las adyacentes.

Si una familia está ausente, es preciso hallar un integrante de la familia en algún sitio de la aldea o volver a la casa en otro momento. Si se llega al final de la aldea antes de completar la muestra se repite el proceso empezando por el centro y siguiendo otra dirección.

2.3.5 DISCUSIÓN CON GRUPO FOCAL

Son discusiones sobre un tema concreto realizadas con personas de formación parecida. Se seleccionan grupos homogéneos, ya que la mezcla de personas de diversas edades, género, o niveles sociales, puede inhibir a algunas personas, especialmente a mujeres, al expresar sus ideas.

Este no es un método absoluto por sí solo, sino que puede complementar otros, una encuesta CAP por ejemplo, y puede ayudar a clarificar otros temas que no se pueden explicar estadísticamente. Un punto importante de esta técnica consiste en escuchar y observar a los participantes: el contenido de lo que dicen es tan importante como la forma de decirlo.

El número de personas por panel puede variar de 6 a 10 y el número de supervisores es de dos a tres:

– El animador: que toma la iniciativa de la conversación y saca los temas de interés.
– El que toma nota: escribe lo que se dice.
– El observador: observa la discusión y anota brevemente lo que ve.

En lo que respecta al equipo necesario, se pueden usar fotos o dibujos para introducir los temas y se puede grabar la discusión (buena solución cuando no hay disponibles tres supervisores).

Se puede usar una discusión con grupo focal para introducir ideas o mensajes al grupo, de forma que sea también una herramienta para la fase de implementación.

Hay varias formas de llevar a cabo una discusión con grupo focal. Aunque en algunos casos es simplemente una charla directa entre el supervisor y los participantes, en otros casos se pueden usar herramientas concretas para facilitar la discusión, tal y como se indica a continuación.

Tabla 20.IV: Herramientas posibles en discusiones con grupo focal

Herramienta	Información
Clasificación en tres niveles	Conocimientos de la gente relativos a temas de higiene Prácticas de riesgo y las causas Posibles objetivos de prácticas seguras Percepción de la gente sobre su comportamiento en relación a la higiene
Dibujar un mapa de la comunidad	Información del contexto Recursos, instalaciones higiénicas
Calendario de las estaciones	Información del contexto Disponibilidad de tiempo de la gente Cultura, hábitos
Análisis de las tareas	Grupos meta para el programa Papel de los géneros

2.3.6 CLASIFICACIÓN EN TRES NIVELES

El objetivo de este método es entender el punto de vista de la población en lo referente a diversas prácticas higiénicas. En primer lugar, se muestran varios dibujos sobre prácticas higiénicas (defecación, lavado de manos, tirar basuras al río, etc.) a grupos de participantes, que deben decidir tras una discusión si la práctica mostrada en el dibujo es buena o mala y por qué. Si lo mostrado no es claro para ellos o si no hay un consenso al final de la discusión, el dibujo se clasifica "sin opinión".

Cuando se usa este método, es de la mayor importancia anotar los comentarios realizados por los participantes y asociarlos al dibujo correspondiente. Este método es bueno para comenzar la encuesta porque rompe el hielo entre el equipo del estudio y la población. Es también una buena oportunidad para introducir temas sensibles como la defecación, letrinas, etc.

2.3.7 LÍNEA HISTÓRICA

El objetivo del método consiste en conocer la historia local según la cuentan los viejos del lugar. Esta experiencia permitirá tener conocimiento de varios asuntos:

– Qué percepción tiene la población de sucesos locales, nacionales e internacionales.
– Cómo se ve la población a sí misma.
– La historia de asuntos concretos que son de interés para el programa (gestión del agua, etc.)

Es importante presentar al equipo de evaluación antes de empezar la discusión y comunicar a los participantes cuáles son los objetivos del estudio y explicarles que la información no se usará contra ellos. Entonces, los participantes, usando materiales locales, relacionan los sucesos importantes para ellos a lo largo de una línea que representa el tiempo.

Este método ayuda también a establecer buenas relaciones con los integrantes de la comunidad y especialmente con los viejos, que tienden a marginarse como informantes clave.

2.3.8 MAPAS DE COMUNIDAD

En este método, los participantes dibujan un mapa de su entorno próximo, indicando los sitios que son de importancia para ellos y otros de interés para el estudio: sitios donde se recoge el agua, lugares importantes para la salud y la higiene, instalaciones de saneamiento (vertederos de basuras, sitios para defecar, lavaderos, etc.).

Mientras los participantes dibujan el mapa, es importante tener en consideración lo que ocurre en el grupo (discusiones, ideas aportadas, actitudes de la gente hacia aspectos concretos, etc.), casi tanto como el mapa mismo. El mapa dará información sobre los sitios en sí y sobre las actitudes de la gente hacia ellos.

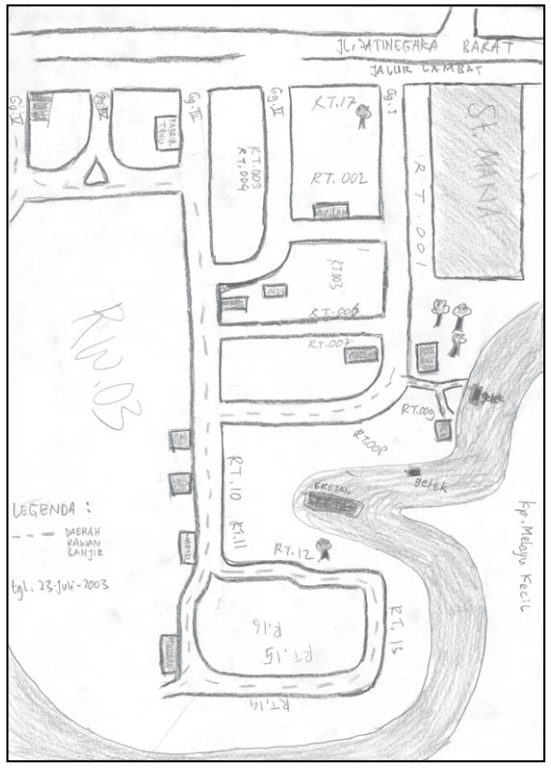


Figura 20.4: Mapa comunitario de un vecindario de Yakarta (Indonesia).

2.3.9 CALENDARIOS ESTACIONALES

El método se usa para comprender el calendario en relación al clima, enfermedades y actividades que gobiernan el régimen de vida de la población a lo largo del año. Al igual que en los métodos anteriores, se requieren supervisores bien entrenados.

Cuando se tratan los brotes de alguna enfermedad, se desarrolla también un sistema de clasificación para resaltar lo que es una incidencia elevada, media o baja.

Figura 20.5: Confeccionando un calendario estacional.

2.3.10 PAPEL DEL GÉNERO / ANÁLISIS DE TAREAS

El objetivo consiste en responder "quién hace qué" en términos de género. Tras observar los arreglos locales respecto a la gestión de tareas y recursos, los investigadores intentarán entender qué tareas se llevan a cabo y qué recursos son gestionados por los hombres, las mujeres y los niños.

Uno de los sistemas usados más comúnmente consiste en preparar varias tarjetas con las tareas dibujadas en ellas. Los integrantes del grupo las miran una a una y llegan a un acuerdo sobre quién hace cada una de las tareas. Las tarjetas se clasifican en tres montones (hombres, mujeres y ambos/no está claro) y se anotan los comentarios sobre cada actividad.

2.3.11 ANÁLISIS DEL AGUA

El análisis del agua es un método complementario que puede suministrar información objetiva sobre los riesgos sanitarios originados por la mala calidad del agua.

La diferencia de calidad del agua en el punto de consumo respecto a la del punto de recogida aporta información sobre la forma de trasegar el agua y sobre la necesidad de mejorar las prácticas en lo que se refiere a la recogida, transporte, tratamiento, almacenamiento, etc.

Si la calidad del agua recogida en un punto seguro es mala, significa que hay que esforzarse para mejorar el manejo del agua.

2.4 Análisis de resultados de una encuesta CAP

La realización de una encuesta CAP tiene que concluir con la redacción de un informe, que consolidará los resultados de las diversas herramientas usadas. Esta parte tiene un papel fundamental, ya que según la experiencia de ACF, en muchas encuestas CAP se hacen cuestionarios válidos pero falta el análisis de la persona responsable de la encuesta, desaprovechando información a la hora de escribir el informe, o haciendo presentaciones de resultados demasiado complejas como para que sean útiles.

Tras el análisis de los resultados, debería ser posible contestar a las preguntas siguientes:

– ¿Cuáles son los hábitos WASH de la población que tienen un impacto negativo (defecar en el río,…) y los que tienen un impacto positivo (lavado de manos con cenizas,…)?

– ¿En qué aspectos un proyecto WASH tiene que enfocarse en este contexto?

– ¿Qué metodología será más eficaz para obtener un cambio positivo sobre la población? (radio, sesiones, materiales visuales,…)

– ¿Cuál es la situación inicial de los principales indicadores WASH? Para poder compararlos fácilmente a lo largo de un proyecto, o entre 2 zonas geográficas distintas.

Para el análisis de los datos de la encuesta estadística, se debe preparar un resumen de los datos en forma de tablas o gráficos para facilitar la preparación del informe y permitir una presentación clara de la información (ver Fig. 20.6). También es importante poder presentar los resultados de tal modo que se pueda comparar la situación antes y después del proyecto. Para facilitar la interpretación de los datos, así como su comparación con otros datos, los resultados tienen que clasificarse en un número muy reducido de categorías (ver figuras 20.6 y 20.7).

Hay que destacar también que el uso de Word o Excel para diseñar cuestionarios y analizar los datos de una encuesta CAP puede ser tedioso. Desde hace unos años, ACF intenta sistematizar en sus misiones el uso de SPHINX Survey, un programa destinado específicamente para encuestas estadísticas de varios tipos.

Pregunta

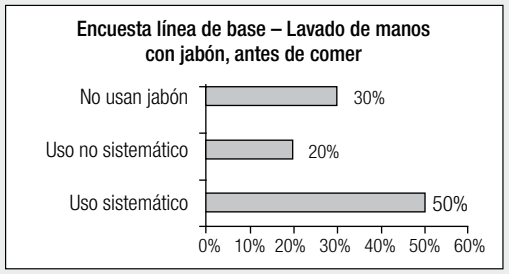
¿Los miembros de la familia se limpian las manos con jabón antes de comer? *(pregunta + control directo de presencia de jabón)*

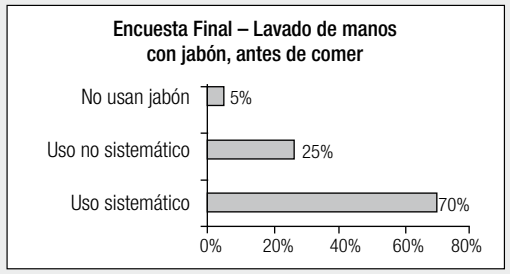
1- Hay jabón para el lavado de manos accesible para toda la familia cerca del lugar donde la gente come

2- Hay jabón para el lavado de manos, pero está lejos del lugar donde la gente come, y/o poco accesible, y/o tiene obviamente otro uso (fregar platos)

3- No hay jabón para el lavado de manos

Resultados:





Comentarios de los resultados: El tanto por ciento de personas que parecen lavarse las manos sistemáticamente con jabón antes de comer (pregunta y control directo de presencia) pasó del 50% hasta el 70%, lo que significa una mejora del 40% en esta práctica de higiene.

Figura 20.6: posible pregunta y análisis de resultados sobre el lavado de manos con jabón.

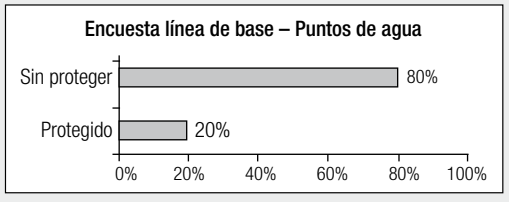
Pregunta

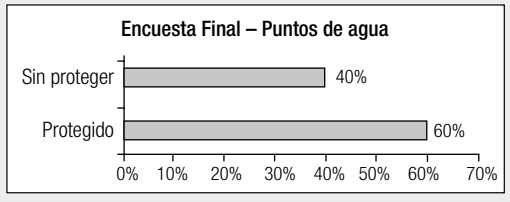
¿En que estado se encuentra el punto de agua potable/para uso doméstico? *(la lista de los ejemplos de punto de agua se debe adaptar según lo que se encuentre en la zona. Los encuestadores tienen que estar formados para reconocer un punto de agua protegido)*

1- Protegido *(tubería de agua dentro de la casa o del patio, pileta pública, pozo perforado, pozo excavado a mano protegido, manantial protegido, recogida de agua de lluvia)*

2- Sin proteger *(pozo excavado a mano sin proteger, manantial sin proteger, vendedores de agua con bidones, distribución de agua por camión, cualquier agua de superficie, botella de agua)*

Resultados:





Comentarios de los resultados: La cobertura en puntos de agua protegidos pasó de 20% hasta un 60%, lo que significa una mejora del 200% en las condiciones sanitarias de los puntos de agua en las zonas de intervención. Sin embargo, todavía estamos lejos de la media nacional de 80% de cobertura en puntos de agua protegidos.

Figura 20.7: posible pregunta y análisis de resultados sobre la protección de los puntos de agua (indicador del Joint Monitoring Program).

También se pueden añadir a las herramientas disponibles un análisis geográfico de los resultados, usando un SIG (Sistema de Información Geográfica), tal y como se presenta en la Figura 20.8.

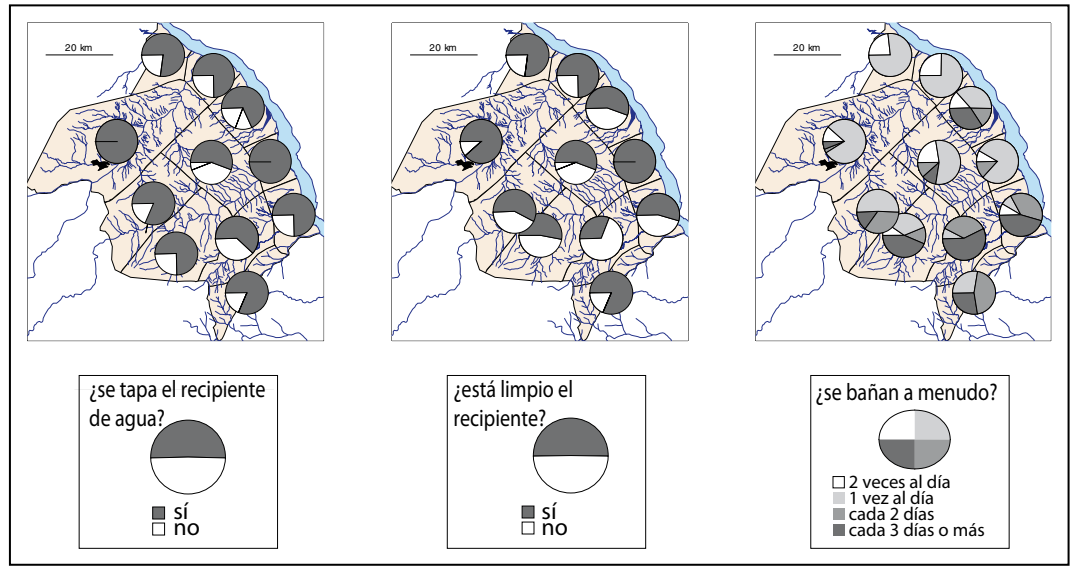


Figura 20.8: Uso de SIG para analizar resultados de una encuesta sobre la higiene en Mozambique (1999).

En el informe, los resultados cuantitativos de la encuesta tienen que validarse (o invalidarse) por los resultados más cualitativos recogidos con las otras herramientas: los grupos focales, paseos sanitarios y observaciones estructuradas. Durante este proceso, es útil hacer la comparación de la información con el conjunto inicial de preguntas preparadas durante la confección del plan detallado de la encuesta.

Una vez el informe esté finalizado, se tiene que dar la máxima difusión al informe. Todos los interesados han de recibir copia del informe que se debe traducir a las lenguas locales para compartir la información con las instituciones locales y la comunidad encuestada.

2.5 Reclutamiento y formación del equipo para la evaluación

2.5.1 ESCOGER EL EQUIPO QUE HARÁ LA EVALUACIÓN

En términos generales, el equipo se escogerá de entre el personal del proyecto y de la población local, y debe comprender:

– Alguien que conozca bien la comunidad donde se llevará a cabo la evaluación.

– Alguien que escriba bien.

– Alguien que hable y comprenda perfectamente la lengua de la comunidad meta.

– Un empleado con antigüedad y conocimientos del área objetivo y experiencia amplia en este tipo de proyectos: esta persona será útil en la planificación de la evaluación y en la conversión de los resultados en objetivos del proyecto.

Cada integrante del equipo debe ser:

- Respetuoso con la población.
- Capaz de vivir en zonas más pobres de lo que está acostumbrado.
- Dispuesto a aprender sobre la gente local y de su cultura.
- Lo más distante posible de los dirigentes políticos de la zona, en la medida de lo posible.
- Capaz de mantener un buen espíritu de equipo entre los demás supervisores.
- Preferiblemente conocedor de la lengua nativa de la población meta.
- Fiable a los ojos de la población.

Si hay algún tipo de conflicto en la población, los integrantes del equipo no formarán parte alguna del conflicto.

2.5.2 FORMACIÓN DEL EQUIPO DE EVALUACIÓN

Una vez escogido el equipo, es preciso prepararlo para la evaluación en diferentes aspectos:

– Sensibilización al trabajo de la evaluación y su significado para el beneficio de la comunidad.

– Adquisición de conocimientos y aptitudes necesarias para este tipo de investigación.

– Mejora de las técnicas de relación interpersonal (presencia, estilo de expresión, salutación, etc.) para que la gente se sienta cómoda en presencia de un supervisor. El objetivo es el de evitar el "efecto observador" por el que la gente tiende a reaccionar de forma distinta por la presencia de un extraño.

– Participación del equipo en la planificación de la evaluación para aumentar la capacidad de dirigir el estudio por ellos mismos.

Contenidos de la formación

En primer lugar el facilitador de la formación debe conocer las habilidades y conocimientos del equipo para orientar la capacitación, fortalecer los puntos débiles y beneficiarse de los conocimientos de los integrantes del equipo más veteranos para ayudarse entre ellos.

El entrenamiento ha de ser lo más participativo posible y el enfoque ha de consistir en ayudar al equipo a aprender, más que imponer conceptos. Las habilidades a desarrollar durante el entrenamiento son:

– Temas sobre agua, saneamiento e higiene: relación entre el uso del agua, el saneamiento, el comportamiento de las personas y las enfermedades.

– Técnicas de observación: el principiante debe aprender a diferenciar los detalles triviales de los importantes, y anotar la descripción sistemática y detallada de lo que observa, evitando en lo posible los prejuicios.

– Técnicas de entrevista: los integrantes del equipo han de ser capaces de establecer una buena relación con la persona entrevistada y escucharla atentamente.

– Técnicas de moderación y discusión: muchas de las técnicas de evaluación consisten en llevar a cabo discusiones con los integrantes de una comunidad. Las discusiones serán moderadas por los supervisores, que necesitan estar bien formados en la gestión de los debates y técnicas de discusión tales como grupos focales, papeles de los géneros, calendarios estacionales, etc.

3 DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL PROGRAMA

El programa entra en la fase diseño y planificación una vez recogida, analizada y presentada la información de la evaluación de necesidades. Lo importante en esta fase es identificar los objetivos, si los hay y diseñar los métodos para conseguirlos. Es importante que continúe el suministro de información de todas las partes participantes en la evaluación a medida que se toman decisiones.

3.1 Definición de las metas del programa

Ahora es el momento de responder a la pregunta "¿qué vamos a hacer y cómo?" Las metas del programa se fijan en función de los resultados de la fase de evaluación de necesidades.

Los siguientes 6 mitos sobre educación a la higiene identificados por UNICEF y LSHTM (1999) componen los ingredientes comunes de todos los programas fallidos de educación a la higiene. Estas ideas deben desterrarse cuando se fijan las metas de un programa:

"La gente es como recipientes vacíos que pueden llenarse con ideas nuevas vertiéndolas dentro sencillamente."

La introducción de ideas y conceptos nuevos puede crear confusión e incomprensión cuando una sociedad ya tiene explicaciones coherentes para las enfermedades.

"La gente me escuchará porque tengo estudios de medicina."

El personal sanitario puede creer que, por haber sido entrenado y capacitado, va a ser escuchado automáticamente y creído por los integrantes de la comunidad. Un trabajador sanitario que sea capaz de decir "es culpa tuya que tus hijos caigan enfermos y mueran, se debe a que eres sucio" no se ganará mucho respeto entre la comunidad.

La gente aprende la teoría de los gérmenes en pocas sesiones en los centros sanitarios

Incluso en las mejores circunstancias, ayudar a la gente a aprender nuevas ideas sobre higiene y enfermedades (cuando sea necesario para cambiar los hábitos higiénicos) es un proceso largo y lento.

"La educación sanitaria puede estar al alcance de grandes poblaciones."

Si un programa de educación sanitaria tuviera que impartirse a todas las madres de una zona se requeriría un número de sesiones de educación en la higiene desmesurado.

"Las ideas nuevas reemplazan a las antiguas."

La promoción de la higiene a menudo tan sólo añade una idea nueva sobre las enfermedades, sin borrar las ideas antiguas.

"El conocimiento hace actuar correctamente."

No se puede asumir que la formación sobre los gérmenes y la diarrea conducirán directamente a un cambio de comportamiento, o que tendrán un impacto significativo en la reducción de enfermedades diarreicas.

3.2 Selección de hábitos objetivo

Los programas suelen adoptar demasiados objetivos. Para ser eficiente, todo programa debe concentrarse en unas pocas prácticas, seleccionadas de entre las que se han identificado en la evaluación de necesidades.

Los criterios para identificar las áreas cuyos hábitos han de cambiar son:

1. Importancia de la nueva práctica en términos de reducción de enfermedades.
2. Capacidad de la gente de adoptar la costumbre: ¿tienen los medios?
3. Voluntad de la gente: ¿querrán adoptar la costumbre nueva?
4. El impacto a conseguir es proporcional al esfuerzo necesitado.

Tabla 20.V: Ejemplo de identificación de nuevas costumbres a promocionar.

Problema	Comportamiento de riesgo	Costumbre segura a promover	Comentarios
Presencia de heces en el entorno humano	La gente no usa las letrinas Las madres tiran las heces de los niños a la calle	Uso de las letrinas Los padres tiran las heces de los niños al foso de la letrina	Instalación reciente de letrinas
Agua potable contaminada	Se usan varios cubos para recoger agua del pozo La gente toca el agua con manos sucias Mantenimiento deficiente del punto de agua No se limpian ni se tapan los recipientes de agua La gente no hierve el agua	Todos los usuarios manejan el mismo cubo La gente no toca el agua La gente se lava las manos El punto de agua está limpio y bien mantenido Los recipientes de agua se tapan El agua potable se hierve	En esta cultura la gente debe tocar el agua No hay madera para hervir el agua
Alimentos contaminados	Alimentos guardados por el suelo La gente toca los alimentos con manos sucias	Los alimentos se guardan en despensas La gente se lava las manos	Las despensas son demasiado caras
Falta de aseo personal	Manos sucias La gente se baña una vez al mes	La gente se lava las manos La gente se baña a diario	Disponibilidad limitada de agua
Entorno sucio	Se tira basura en la calle Charcos de agua	Las basuras se queman o se entierran Se limpian y mantienen los desagües	

Aunque las costumbres sugeridas en la Tabla 20.V sean importantes, no es posible relacionar

completamente todos los hábitos seguros en una sola lista, se escogieron cinco por su mayor importancia y posibilidad de ponerse en práctica en aquel contexto: lavado de manos (impacto sobre tres problema distintos), uso de letrinas y gestión de las heces de los niños (complementaria del programa de letrinas que se estaba poniendo en práctica), limpieza y mantenimiento del punto de agua (complementario del programa de construcción en curso) y recogida de basuras (fue uno de los mayores problemas que se identificaron).

Comprobación de los hábitos seleccionados: pruebas de comportamiento

Se recomienda verificar que los hábitos escogidos para reemplazar los que presentaban riesgos son factibles y realistas. Una forma de comprobarlo es la prueba de comportamiento, en la que se selecciona un número restringido de voluntarios de entre el grupo meta, tras presentarles los resultados del estudio en la comunidad y las ventajas de adoptar los nuevos hábitos.

Los voluntarios (generalmente mujeres) adoptarán los hábitos seguros durante dos semanas y un integrante del equipo visitará a cada voluntario en su casa a diario para aconsejarle y observar el progreso. En cada visita, el observador anotará todo lo que ocurra en el proceso de adopción del nuevo hábito y tratará de contestar a las preguntas siguientes:

- ¿Se ha adoptado la nueva costumbre?
- ¿Cuáles han sido las dificultades y cómo se han superado?
- ¿Qué puede favorecer la adopción de la nueva costumbre?
- ¿Le gusta al voluntario la nueva costumbre? ¿Por qué?
- ¿Qué costes y beneficios tiene para el voluntario?

Al final del proceso se resume la secuencia de lo ocurrido en una tabla, como en el ejemplo siguiente:

Costumbre	Porcentaje de gente que adopta el hábito	
	Inicial	Final
Lavarse las manos tras defecar	10%	30%
Enterrar o tirar las heces de los niños a la letrina	5%	18%

Esta técnica permitirá redefinir o modificar las nuevas costumbres elegidas para reemplazar las prácticas de riesgo.

3.3 Selección del grupo meta

La evaluación detallada debería haber identificado a la gente que realiza prácticas de riesgo. Pero la gente no actúa aisladamente, forma parte de grupos de familias y de una sociedad mayor que influye en todo lo que hace. La comunicación para influir en los cambios de costumbres hay que dirigirla a las personas que toman las decisiones clave en la familia y la comunidad.

También debe considerarse en qué momento de la vida de estas personas es más adecuado transmitirles el mensaje escogido (preescolar, escolar, juventud, vejez).

3.4 Diseño del mensaje

Ahora es preciso decidir la mejor manera de convencer a la población para que sustituyan los hábitos de riesgo por las nuevas prácticas seguras, objetivo del programa.

Esto implica que hay que encontrar dentro del grupo meta primario qué es lo que les gusta de los hábitos seguros. Se puede entrevistar a la gente que ya practica hábitos seguros, se pueden llevar a cabo discusiones con grupos focales y entrevistar a las personas que probaron la adopción de las costumbres seguras por unas semanas. Se realizan estrategias de comunicación con los valores positivos encontrados.

Los métodos usados para averiguar lo que le gusta a la gente sobre los hábitos más seguros (cambio en las prácticas de riesgo) pueden ser pruebas de comportamientos, entrevistas semi-estructuradas y discusiones de grupo especializadas. Con la información obtenida se hace una declaración de intenciones que recoge una ventaja clave y una meta clave para cada objetivo de hábito nuevo.

Ejemplos:

"Quiero limpiar todas las heces y arrojarlas a la letrina porque entonces la gente no las pisará y mis vecinos me respetarán."

"Quiero lavarme las manos con jabón después de tocar las heces porque me deja las manos con buen olor y me siento mejor cuando huelo a limpio."

No es aconsejable posicionar los mensajes alrededor del miedo a la enfermedad y la muerte de niños. Por ejemplo, los mensajes sobre la diarrea no siempre tienen sentido para la gente, más bien tienden a disgustarle por que suelen ser bastante repulsivos. Un mensaje que transmita la idea de tener niños más sanos y menores costes sanitarios es más positivo y atractivo.

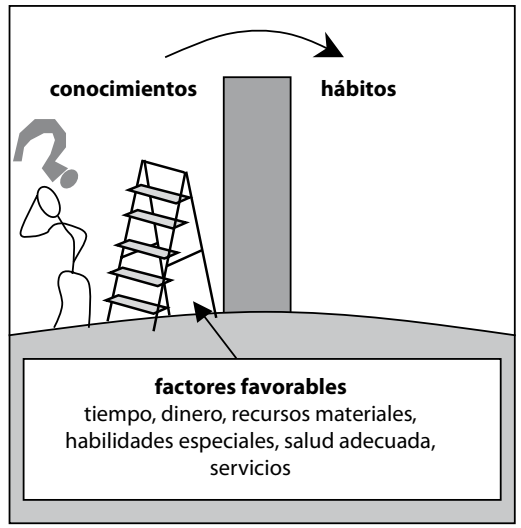


Figura 20.9: Factores influyentes.

Todo mensaje será efectivo si el consejo dado es pertinente, adecuado, aceptable y transmitido de forma comprensible. Para la confección del mensaje es preciso conjugar la comprensión de la salud de la gente con las influencias existentes en su comportamiento (Fig. 20.9).

Un buen consejo debería:

– Quedar definido por los resultados de estudios previos.
– Recomendar de un hábito objetivo identificado con anterioridad.
– Respetar al entorno social y a la cultura de la comunidad.
– Considerar los factores que capacitan: debe ser aceptable y realista.
– Requerir tiempo y esfuerzo mínimos.
– Percibirse como una necesidad por la comunidad.
– Causar un beneficio apreciable.
– Entenderse con facilidad.

3.5 Canales de comunicación

El nivel de comunicación debe escogerse en función de la clase de mensaje a transmitir, el tamaño de la población meta y las posibilidades del equipo. Los canales a usar dependerán del nivel escogido:

– Nivel individual/familiar:
- Comunicación cara a cara.
- Educación a los enfermos.
- Visitas a los hogares.

– Nivel comunitario:
- Participación/discusión comunitaria.
- Dando clases a grupos.
- Exhibiciones.
- Demostraciones.

– Nivel regional/nacional:
- Grandes medios de comunicación.
- Movilización social.

El equipo ha de decidir cuáles son probablemente los canales de comunicación más efectivos y asequibles al presupuesto del programa, en base al estudio realizado sobre los grupos meta. Los objetivos de la comunicación necesitan traducirse en actividades y otros actos diseñados para transmitir el mensaje. Es lo que se conoce comúnmente como soportes de la comunicación, que hacen uso de su impacto en los sentidos de la vista y del oído para transmitir los mensajes. Estos soportes se pueden clasificar en:

– *Audiovisuales:* el que se ve y se oye; puede ser teatro, video, cine y clases con materiales audiovisuales.

– *Orales:* los que usan sólo palabras para transmitir mensajes; pueden ser en forma de un cuento, una canción, un anuncio en la radio o la visita de un trabajador sanitario.

– *Escritos:* son los folletos, carteles y artículos en prensa.

– *Visuales:* carteles, pegatinas y tablas impresas.

Para escoger los soportes en el plan de comunicación hay que tener en cuenta varios aspectos:

– *Usar el idioma local* – así la gente siente que se dirigen a ellos;
– *Ser atractivos* – hay que atraer a la gente;
– *Ser repetitivo* – para que se graben bien los mensajes;
– *Fáciles de comprender* – para que nadie se confunda;
– *Ser participativos* – es más efectivo el intercambio de ideas;
– *Ser provocativo* – para que los mensajes se memoricen y sean objeto de discusión;
– *Usar ejemplos* – para que los nuevos hábitos se perciban como factibles.

Al escoger el medio de comunicación hay que tener en cuenta que:

– Recordamos apenas el 10% de lo que oímos.
– Recordamos alrededor del 30% de lo que oímos y vemos.
– Recordamos más del 60% de lo que hacemos.

Por esto, los actos son más efectivos que las palabras para recordar la información.

A veces, ya existen materiales desarrollados y disponibles para usarse en el programa. Estos materiales ya hechos pueden ahorrar mucho tiempo y dinero, sólo hay que tener en cuenta a qué grupos meta se dirigían originalmente. Es un error corriente, por ejemplo, usar en la comunicación con los adultos una herramienta diseñada para hacer llegar mensajes a niños.

Se indica, a continuación, una serie de herramientas usadas frecuentemente en los programas de ACF.

3.5.1 IMÁGENES

Se usan de varias maneras:

– Para ayudar en la comunicación cara a cara.
– Como complemento de los medios escritos (periódicos, camisetas, pegatinas, etc.).

Hay que tener en cuenta los puntos siguientes cuando se usan imágenes:

– Que los detalles sean precisos y los objetos sean familiares a la audiencia.
– Evitar los detalles que distraen la atención.
– Tener cuidado si se usan secuencias de imágenes, ya que pueden crear confusión.
– Usar un solo mensaje por imagen.
– Hacer pruebas previas con audiencias reducidas.

3.5.2 TEATRO/MARIONETAS-TÍTERES

Generalmente, esta herramienta tiene la ventaja de ser atractiva a la audiencia. La experiencia muestra que el impacto de esta herramienta tiende a superar las sesiones orales simples.

El teatro popular puede usarse para promocionar la participación ciudadana. Tras la sesión, la gente puede ponerse a discutir los temas y sugerir soluciones. A veces esto puede ocurrir incluso durante la representación.

Figura 20.10: Uso de marionetas para la promoción de la higiene en Laos.

Las marionetas son una forma de teatro con un gran potencial para la promoción de la higiene. En algunos países, como Indonesia, las marionetas son una tradición. Una ventaja de las marionetas es que pueden transmitir mensajes sensibles que no serían posibles para un actor en un teatro. Hay mensajes que la población no aceptaría si vinieran de una persona, pero los escucharían si vienen de una simple marioneta.

3.5.3 CUENTA- CUENTOS

Mientras que algunos de los métodos que se proponen requieren un cierto nivel de educación formal, contar cuentos es algo mucho más próximo a las personas de lo que se cree. Además, la gente recuerda mejor las cosas si se dicen de esta manera que si se dicen en una conferencia formal. El cuento se ha de contar de modo que la gente identifique los personajes y las situaciones presentadas.

3.5.4 CANCIONES

En países como Sierra Leona la música combinada con la danza se usa tradicionalmente para contar sucesos e historias. Los cantantes de las aldeas son bastante apreciados por la comunidad y las gentes escuchan lo que se dice en las canciones. Este canal tiene un efecto significativo en las emociones y fue utilizado por el equipo de promoción de la higiene en este país con excelentes resultados. Las canciones pueden ser utilizadas como un medio de comunicación de masas (edición de un CD, por ejemplo) o como componentes de sesiones de promoción de la higiene en aldeas o escuelas.

3.5.5 VIDEOS, DIAPOSITIVAS, ETC.

Estas herramientas son también buenas por ser atractivas, pero se han de usar con tacto, ya que a veces la herramienta en sí recaba más atención de la audiencia que el mensaje a transmitir, dada su novedad y el bajo grado de desarrollo de las personas que componen la audiencia.

3.5.6 MEDIOS DE COMUNICACIÓN DE MASAS

Es posible también incluir mensajes en forma de anuncios en la prensa, radio, televisión, etc. En estos casos siempre es bueno presentar el mensaje y pasar a discutirlo con muestras reducidas de los grupos meta antes de la publicación o transmisión. Estas herramientas se usan principalmente para llamar la atención sobre un tema dado, tras lo cual los equipos realizan una comunicación cara a cara para reforzar el proceso de cambio de hábitos.

3.6 Selección de los comunicadores

La cuestión ahora es decidir quién va a responsabilizarse de transmitir el mensaje a los grupos meta. La persona seleccionada debe ser lo más cercana posible a la comunidad meta y, si fuera posible, ser uno de ellos. Esto se puede realizar de varios modos:

– Reclutamiento como empleado de la organización para realizar directamente el programa. En este caso, se recomienda que sean nativos de la región de las comunidades meta. Por ejemplo, en Mozambique, ACF desarrolló el programa de promoción de la higiene con un equipo de seis promotores provenientes de sendas áreas que formaban parte del objetivo del programa. Ellos conocían detalladamente sus respectivas áreas de trabajo y eran conocidos y respetados por las gentes de las comunidades con las que trabajaban. Cada uno estuvo basado en su zona respectiva y sólo la abandonaba una vez al mes durante unos días para reunirse con los demás compañeros, discutir el progreso y escribir un informe mensual de actividades.

– Trabajar a través de una ONG local.

– Trabajar con grupos locales de personas, como compañías de teatro.

– Formación de formadores: para lo que el personal de la agencia incluye formadores que capacitarán a algunos integrantes de la comunidad; quienes, a su vez, se encargarán de transmitir los mensajes a los grupos meta. En este caso hay dos alternativas:

- Entrenar a personal sanitario o educativo: trabajadores sanitarios, maestros, comadronas, etc.
- Entrenar uno o más facilitadores comunitarios de higiene (*CHF - Community Hygiene Facilitators*); son gente de la comunidad escogidos por los propios integrantes de la misma.

3.6.1 LOS MAESTROS COMO COMUNICADORES PARA ASUNTOS SOBRE LA HIGIENE

Durante la planificación es importante acordarse de las escuelas. Los niños suelen formar parte importante del grupo meta y la formación de los maestros en la higiene es una forma excelente de mejorar el impacto del proyecto y garantizar la continuidad (sostenibilidad). Trabajar con escuelas y niños tiene varias ventajas:

– La mayor parte del tiempo, los niños forman parte del grupo meta ya que son los que más padecen las enfermedades diarreicas.

– Los niños son más receptivos que los adultos a los mensajes nuevos. Los mensajes llegan con mayor facilidad por haber menos hábitos establecidos y es más fácil, por tanto, adoptar costumbres nuevas o seguras.

– Sostenibilidad: el trabajo con niños es una inversión para el futuro. Si adoptan un hábito nuevo, permanecerá con ellos el resto de sus vidas. Además si los maestros están capacitados para incluir la higiene en sus programas de enseñanza, las costumbres seguras tendrán una continuidad en el tiempo, después de que se marche la ONG del terreno.

– Los niños que hayan adoptado las prácticas seguras en sus casas serán una buena semilla para sus padres y, a través de ellos, para el resto de la comunidad.

Hay abundantes ejemplos de esta actividad en Birmania, donde los niños pintan las letrinas recién construidas con dibujos mostrando prácticas seguras en el uso de la letrina (lavarse las manos tras la defecación, mantener limpia la letrina, etc.); o Timor Oriental, donde los profesores organizan una serie de actividades, como representaciones o canciones. En ambos casos, se forma a los profesores durante las primeras sesiones llevadas a cabo por el equipo del proyecto y luego realizan su cometido ellos mismos con ayuda de material educativo.

3.6.2 "FACILITADORES" COMUNITARIOS DE LA HIGIENE (CHF)

En los programas de ACF, es cada vez más corriente trabajar con CHF. Son integrantes de la comunidad entrenados por personal de ACF para que sean personas de la comunidad a las que se recurra para temas relativos a la higiene.

Aunque un proverbio antiguo diga que nadie es profeta en su tierra, también es cierto que la gente tiende a entenderse mejor con los que pertenecen a la misma comunidad que con los de fuera. Además, darse cuenta de lo que es capaz de hacer un integrante de su propia comunidad representa un estímulo para el resto. Las ventajas más importantes de trabajar con un integrante del grupo meta como promotor de la higiene son:

– Conocimiento local: conocen bien la comunidad.

– Logística: el volumen de trabajo del personal de ACF se reduce al realizar un miembro de la comunidad el trabajo de sensibilización y transmisión del mensaje.

– Sostenibilidad: la promoción de prácticas higiénicas seguras depende de un miembro de la comunidad, y no de la intervención de un equipo extraño.

Para promocionar la sostenibilidad de la actividad de los facilitadores, no se les paga salario alguno por su trabajo. Se les proporciona incentivos como camisetas, gorras o la oportunidad de asistir a alguna formación fuera de la ciudad. A veces, el hecho de ser puntos de referencia en la aldea les hace sentirse útiles, respetados y reconocidos por el resto de la comunidad, lo que puede ser una recompensa suficiente para ellos.

El papel del CHF

– *Promoción de mejores hábitos*, con su propio comportamiento, discusiones y actividades tales como las visitas domiciliarias. El CHF debe ser alguien respetado en la comunidad para que sus puntos de vista sean escuchados debidamente.

– *Vigilar e informar:* el CHF es una ventana de la agencia durante la fase de ejecución y posteriormente. Pueden proporcionar actualizaciones de la situación comunitaria en lo referente a las enfermedades, adopción de nuevas costumbres, etc. Si están bien entrenados, pueden proporcionar información regularmente, buena y de primera mano. Para ello, se les proporciona una hoja simple de información en forma de impreso a rellenar periódicamente (semanal o mensualmente) donde pueda resumir la información de interés (nacimientos, defunciones, casos de diarrea, estado de limpieza de las instalaciones de agua y saneamiento, etc.).

– *Tratamiento de casos de diarrea*: en sitios como Sierra Leona, se consulta al CHF para los casos de diarrea. Pueden administrar solución hidratante oral y/o contactar con el centro sanitario más próximo si es necesario.

Selección del CHF

El CHF debe ser elegido por los integrantes de la comunidad, pero hay ciertos aspectos a considerar para minimizar el riesgo de fracaso:

– El CHF debería formar parte del grupo meta, que a menudo está integrada por los más pobres de la comunidad. A veces el jefe de la aldea decide por sí mismo y escoge a alguien de su familia o de su círculo de amistades aunque sean manifiestamente ineptos para el caso. Hay que evitar esto a toda costa.

– En general, las mujeres son las más indicadas para el papel de CHF. Suelen estar en los grupos de riesgo a estudiar y están involucradas mayoritariamente en las tareas diarias de la vida comunitaria.

– El CHF debe saber leer y escribir, y en ocasiones ha de ser capaz de escribir informes.

– El CHF ha de ser alguien que permanecerá en la comunidad sin perspectivas inmediatas de mudarse. La gente joven con alguna formación aspiran generalmente a mejorar la situación marchándose, por lo que las personas mayores suelen ser más indicadas.

– El CHF no debe tener relación con organización política alguna y ha de mantenerse al margen de posibles conflictos. Han de ser respetados por todo el mundo en la aldea y su opinión debe ser escuchada por la mayoría de la comunidad.

– La elección del CHF no se debe hacer con excesiva rapidez. Hay que dedicarle el tiempo oportuno para evitar fracasos.

– El punto más importante es que el CHF ha de estar motivado, dedicado a la justicia social y capaz de mostrar solidaridad con los más vulnerables.

Entrenamiento del CHF

Se puede organizar un taller de trabajo para entrenar a todos los CHF escogidos de entre las comunidades meta del proyecto para poder darles la instrucción conjuntamente al mismo tiempo, y permitirles intercambiar experiencias y puntos de vista. Este entrenamiento suele durar entre una y dos semanas (dependiendo de los temas a tratar), pero debe adaptarse dependiendo de la disponibilidad de las personas a formar. Tras el taller y durante el transcurso del programa, los encargados de la formación visitan a los CHF periódicamente para hacer un seguimiento de sus actividades, contestar sus preguntas y dar consejos para solucionar posibles problemas.

A veces, cuando los CHF adquieren bastantes conocimientos y experiencia, se convierten en formadores o miembros del equipo el proyecto.

3.7 Consolidación del Plan de Comunicación

A estas alturas ya se han conformado los grupos participantes a los que va dirigida la intervención sobre el agua segura y el saneamiento ambiental. El equipo del proyecto habrá aprendido bastante sobre la comunidad con la investigación que han llevado a cabo. Ya se conocen los comportamientos y los hábitos a recomendar y promover.

Conocen los canales y los medios de comunicación que van a usar: en la mayoría de los casos será persona a persona para desarrollar los comportamientos personales; los medios de gran difusión y los tradicionales para modelar las costumbres y proporcionar información, y pedir a gente influyente de todo orden que testimonien su apoyo a la intervención, estableciendo así unas normas sociales al tiempo que crean un clima favorable al cambio.

Es importante que el plan de comunicación final sea el resultado de un esfuerzo del equipo. El proceso de redacción de un plan dará validez a las contribuciones de los integrantes del equipo, socios y otros que han participado en la investigación, preparando planes o definiendo estrategias. Es también una manera de sentirse partícipe en el plan y asegurar el buen funcionamiento de las operaciones.

Ensayo piloto, comprobación y revisión

Las comprobaciones son muy importantes porque los materiales de la comunicación no estarán bien hechos la primera vez. El cartel que muestra una madre lavándose las manos puede percibirse por los grupos meta como que esté tomando una pastilla, o el anuncio por radio que se ha hecho puede ser tan gracioso que distraiga la atención del mensaje que se quiere transmitir.

Se deben hacer ensayos de prueba con todo el material. Bocetos de los carteles se llevan a escuelas o centros de salud para preguntar a la gente qué ve en ellos. Se mantienen pequeñas reuniones de discusión con grupos focales para tener una valoración de las cintas de los programas de radio. Se puede entrevistar a algunos espectadores tras la función de teatro para ver qué es lo que más les ha llamado la atención. Los trabajadores sanitarios pueden hacer ensayos con los materiales y dar una retroalimentación sobre su utilidad.

Una vez comprobado y revisado el material, lo inteligente es dar comienzo al programa a pequeña escala y vigilar la marcha. Se hace un seguimiento y se evalúa; cualquier cosa que no sea adecuada se elimina o corrige. Sólo entonces se puede lanzar el programa principal en todas las zonas escogidas originalmente.

3.8 Distribución de kits higiénicos

Puede que los hábitos higiénicos elegidos para reemplazar los de riesgo necesiten algunos artículos que no están disponibles entre la población. Esto ocurre con frecuencia en situaciones de emergencia y con poblaciones altamente vulnerables. En este caso, puede ser necesario distribuir artículos imprescindibles para que la población afectada pueda llevar a cabo las prácticas higiénicas seguras.

Ejemplos de algunos artículos distribuidos:

– *Jabón*: a considerar sólo en casos de emergencia (la distribución de jabón no es en sí misma una solución sostenible).

– *Cloro*: se distribuye en casos de brotes epidémicos de cólera o diarrea. Puede usarse para desinfectar pozos o tratar agua potable. Como es un producto peligroso si se usa incorrectamente, el personal que lo va a utilizar ha de estar debidamente capacitado.

– *Artículos de limpieza*: para recipientes de agua, viviendas o puntos de agua.

– *Recipientes de agua*: adaptados a las costumbres y necesidades que tenga la gente para la recogida, manejo, transporte y almacenamiento del agua. Es común distribuir un recipiente para la recogida y transporte (entre 5 y 20 litros), y otro para almacenamiento (entre 30 y 100 litros). Es posible también incluir una botella de agua en el paquete para que la gente tenga agua potable limpia mientras trabajen lejos de sus casas.

– *Pavas*: recipientes metálicos con pito para desinfectar agua correctamente hirviéndola.

Filtros: si no es posible hervir agua por causas culturales o por falta de combustible a precios razonables, se pueden distribuir otras soluciones como filtros de arcilla o de arena (con mantenimiento fácil y de bajo coste) a nivel casero.

– *Cortaúñas*: las uñas sucias son una fuente importante de transmisión de patógenos.

Cuadro 20.2
Ejemplo de la distribución de kits de higiene en Laos.

En Laos, en la fase de evaluación se detectaron malas prácticas en el transporte y manejo del agua. Para asegurar una buena calidad del agua a nivel casero, se precisó que la gente protegiera el agua durante el transporte y almacenamiento y que la tratara hirviéndola. El problema era que la gente no disponía de recipientes adecuados para el transporte, almacenamiento, ni para hervirla. Estos artículos no estaban disponibles a precios razonables y se decidió la distribución de unos kits higiénicos. El seguimiento hecho algunos años después indicó que la gente había empezado a hervir el agua y había modificado sus hábitos de riesgo, motivados por la disponibilidad de los recursos necesarios.

El kit higiénico familiar contenía los siguientes artículos:

– un cortaúñas (la gente come generalmente con las manos y comparten la comida);

– 2 cubos de plástico para recoger agua con los que reemplazar las tradicionales calabazas antihigiénicas y de baja capacidad;

– un recipiente de 60 litros de plástico con tapa para almacenar agua en casa y reducir la frecuencia de paseos para recoger agua;

– un cazo de plástico con mango para coger agua del recipiente de forma higiénica;

– una pava para hervir agua;

– un juego de seis vasos de plástico;

– un frasco con aislamiento térmico (“termo”);

– una pastilla de jabón y un cepillo;

– un jabón repelente de mosquitos;

– mosquiteras impregnadas (el número de mosquiteras distribuidas por familia se decidió tras una visita de inspección. Se entregó una mosquitera pequeña de repuesto para los que salían a trabajar toda la noche en los arrozales. etc.).

4 SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN

4.1 Seguimiento

El objetivo del seguimiento es revisar el desarrollo del programa en todas las etapas para mejorar los resultados.

Tras cada sesión de promoción de la higiene, el promotor rellena una hoja con toda la información pertinente del sitio, la fecha, hora, audiencia al principio y al final de la sesión, actitud (aburridos, participativos, etc.), número de enfermos de diarrea, limpieza del punto de agua, etc. Cada promotor tiene un impreso para recopilar los datos mensuales. Esta información de todos los integrantes del equipo o de los CHF se usa para las reuniones de fin de mes sobre el trabajo que se hace, los problemas encontrados y los puntos fuertes a resaltar.

El resultado de esta reunión se puede recopilar en una tabla como la mostrada en Tabla 20.VI.

Al igual que en todos los aspectos del programa, las actividades de promoción de la salud necesitan seguirse y supervisarse con todo cuidado. Las revisiones periódicas ayudarán a asegurar que las actividades se llevan a cabo, que llegan hasta la gente que las necesita y que son efectivas. Los resultados permitirán hacer modificaciones al programa para que sea más efectivo.

Tabla 20.VI: Ejemplos de seguimiento de varios aspectos de actividades de comunicación.

	Cartel	Sesión	Medio de comunicación
Visibilidad	El cartel se colocó en la iglesia y lo vio prácticamente toda la población.	Se hizo la sesión mientras trabajaban las mujeres en el campo y vino poca gente.	El programa de radio se difundió durante el almuerzo y nadie lo escuchó.
Interés	El cartel era demasiado pequeño para llamar la atención.	La sesión fue tan aburrida que la mitad de la gente se marchó antes del final.	El programa era una serie dada por un grupo de teatro sobre historias reales y corrientes que suceden en la comunidad. La gente se sintió identificada y tuvo mucha audiencia.
Comprensión	La gente pensó que el mosquito del cartel era la solución a la malaria.	El facilitador en el terreno hablaba la lengua local con las mismas palabras y expresiones que utiliza la comunidad.	El locutor usó palabras complicadas y nadie entendió nada.
Aceptación	La gente cree que la malaria es cosa de brujas y no se creen el mensaje a pesar de comprenderlo.	Cuando el facilitador dijo que la diarrea se transmitía por las heces, la gente se echó a reír.	El locutor era un antiguo jefe muy conocido y respetado por lo que la gente confió en lo que dijo.
Cambio de costumbres	Hay gente que no tiene dinero para comprar una mosquitera.	La gente se lava las manos con jabón para gastarse menos dinero en medicinas.	Las mujeres quisieron seguir el consejo pero no tenían medios para ello.
Mejora de la salud	El centro sanitario empezó a vender mosquiteras a bajo precio y descendió la malaria.	La gente empezó a lavarse las manos pero la calidad del agua potable era tan mala que la salud no mejoró.	La gente comprendió el mensaje, lo creyó y siguió el consejo pero los centros sanitarios no funcionaron.

4.2 Evaluación

La evaluación trata de tener una visión global del proyecto y definir en qué medida se han cubierto los objetivos y cómo y por qué se han quedado cortos si es el caso. La evaluación trata también de averiguar si ha habido consecuencias imprevistas relacionadas con las actividades del proyecto. Mientras que el seguimiento debe hacerse desde el comienzo del proyecto, la evaluación solo se hace cuando ha transcurrido tiempo suficiente para que puedan detectarse algunos cambios (ver Capítulo II). Esta etapa comprende tanto el análisis del impacto global como el uso del análisis para planificar actividades futuras.

Los métodos usados para realizar el estudio son válidos también para la evaluación del impacto del programa.

La evaluación y el seguimiento pueden solaparse. Lo importante es hacer el seguimiento de un comportamiento que se acaba de introducir y evaluar si este comportamiento ha cambiado los parámetros que preocupaban al comienzo.

Los cambios en los hábitos y las mejoras en la salud se consiguen más lentamente que los cambios en el conocimiento. Se pueden hacer evaluaciones a corto plazo (seguimiento) durante el desarrollo del programa y al final. Pero también se pueden hacer evaluaciones a largo plazo, después de terminar el programa, para averiguar el impacto real de las actividades desarrolladas.

5 EJEMPLO: LAOS

Cuadro 20.3
Ejemplo de una evaluación en Laos.

Medida del impacto de una parte del programa de promoción de la higiene en Laos (2003). Los resultados se han obtenido con una encuesta CAP realizada al comienzo y al final del programa. Demuestran un cambio en el conocimiento, costumbres y resultados sanitarios.

	Resultados antes del programa	Resultados un año después del término del programa	Comentarios
Agua potable			
Hierven agua para desinfectarla	22%	98%	Distribución de pavas
Usan un cubo para transportar agua	16%	94%	Distribución de cubos
Usan una calabaza para llevar agua	58%	1%	
Usan un bidón viejo para llevar agua	21%	4%	
Lavan con jabón los recipientes de agua	18%	67%	
Van a por agua más de una vez al día	81%	13%	Distribución de cubos y recipientes para agua
Relación entre agua y enfermedad			
Saben que el agua puede transmitir enfermedades	37%	93%	
No saben evitar la diarrea	83%	15%	
No hacen nada cuando un niño tiene diarrea	51%	10%	
Tuvo diarrea al menos una persona el mes pasado	74%	36%	

Los objetivos específicos y resultados a obtener con actividades de educación en la higiene son los siguientes:

– Aumento de la concienciación sobre la higiene y de las prácticas higiénicas entre las comunidades de 29 aldeas, por medio de sesiones educativas sobre higiene (en lengua local) y por la distribución de kits higiénicos.

– Aumento de la concienciación sobre la malaria y mejora de las prácticas de prevención en 52 aldeas, por medio de sesiones de educación sobre la malaria (en lengua local) y por la entrega de mosquiteras impregnadas.

Para conseguir los resultados deseados el método general que se estableció fue:

Evaluación de las necesidades

– El primer paso antes de empezar el programa de educación sanitaria en sí fue evaluar las necesidades con una encuesta CAP relacionada con los conocimientos y hábitos sobre la higiene y la prevención de la malaria. El propósito de la encuesta es conocer las costumbres locales en relación con la higiene para diseñar el programa de educación adecuado, que responda a las necesidades específicas de la población. Se llevaron a cabo también de forma paralela otras encuestas cualitativas en forma de discusión con grupo focal (frecuencia de enfermedades, etc.).

Resultados de la evaluación

– La diarrea y la malaria fueron las enfermedades que más se repetían en las aldeas. Por ejemplo, en 12 de las aldeas objetivo donde se mantuvieron las discusiones con grupos focales antes de comenzar las sesiones de educación sanitaria, la enfermedad más común fue la diarrea o la malaria. Sólo en 2 de estas 12 aldeas hubo otra enfermedad (tos) que era más frecuente que las anteriormente mencionadas.

– Los aldeanos tenían escasos conocimientos sobre el origen de estas enfermedades, los medios de protección y los tratamientos básicos (en el caso de las diarreas infantiles, p.ej.).

– Aunque se enseñó a los aldeanos la naturaleza de los problemas mencionados y sus soluciones, carecían de los recursos necesarios para adquirir lo que necesitaban. P.ej., el 53% de la gente no hervía el agua porque no podían comprar una pava y ninguna familia sin mosquitera podía permitirse la compra de una.

– Por tanto, para poder tener un impacto positivo sobre la reducción de la incidencia de malaria y diarrea se requería la distribución de materiales.

Diseño de las sesiones de promoción de la higiene

El diseño del temario para las actividades de educación a la higiene se basó en los resultados de las encuestas. Se llevarían a cabo cuatro sesiones diferentes abordando temas diferentes en cada aldea objetivo. Los temas de las cuatro sesiones fueron:

1) Higiene en general (prácticas higiénicas para cocinar y comer, higiene personal, limpieza del entorno y qué hacer con la basura, etc.). Distribución de cortaúñas y jabón.
2) Diarrea (causas, peligros sanitarios relacionados, acciones a tomar y medios de prevención). Preparación de solución hidratante oral.
3) Agua limpia (peligros relacionados con el agua contaminada, medidas preventivas, prácticas higiénicas seguras de recogida de agua, transporte, almacenamiento y consumo). Distribución de paquetes higiénicos. Cobro de pequeñas cantidades por cada paquete distribuido para crear un fondo de reserva en la aldea.
4) Malaria (causas, riesgos sanitarios asociados, medidas preventivas, acciones a tomar en caso de enfermedad). Distribución de mosquiteras tras hacer un inventario de las necesidades en cada casa. Distribución de pastillas de jabón repelente de mosquitos. Impregnación de mosquiteras con ayuda de los aldeanos.

Herramientas y métodos educativos

Como el efecto de las sesiones educativas sobre la salud depende básicamente de la comprensión de la información, hay que prestar atención especial a los siguientes parámetros:

– La mayor parte de los aldeanos, especialmente las mujeres, no hablaban o comprendían la lengua Lao. Por lo que era de máxima importancia que las sesiones educativas se desarrollaran en la lengua de la minoría étnica que se tratara. Esto se tuvo en cuenta desde el mismo principio del proyecto y ACF reclutó gente que hablaba Akkha (nativos la mayoría de ellos). Por esto no se requería traducción en la mayoría de las aldeas (16 aldeas de 21). En las aldeas Koui, donde no había intérpretes, se contrataron algunos de aldeas objetivo de los proyectos anteriores (aldea de Phonsamphan).

– La mayor parte de la gente era analfabeta. Por ello, la mayor parte de los medios necesarios eran dibujos o sonidos. Para ello, se usaron varios equipos educativos en forma de carteles, juegos, cartas, videos (en lenguas Koui y Akkha), etc.

La gente se dividió en tres grupos en cada aldea (mujeres, niños y hombres). Se llevó a cabo una sesión específica para cada grupo. Para mantener la atención de los participantes y estimular su participación, se otorgaron premios nominales, como dulces a los niños, pastillas de jabón y camisetas para la prevención de la malaria de ECHO/ACF a la gente más participativa. Además, los educadores presentaron testimonios y experiencias para ofrecer ejemplos de situaciones reales y animar más las presentaciones.

La evaluación del programa se realizó con encuestas CAP antes de empezar el programa y un año tras la finalización. El análisis de los resultados de la encuesta se hizo con una hoja de cálculo simple. Se cita como ejemplo, que la proporción de gente que se lava las manos con cenizas o jabón subió del 16% al 80% y la gente que hervía el agua del 22% al 98%.

VI

Interveciones específicas

CAPÍTULO XXI

Emergencias

A.	**INSTALACIONES EN ASENTAMIENTOS**	603	*2.2.2*	*Desinfección del Agua*	611
1	**Selección y planificación del terreno**	603	**3**	**Ejemplos**	611
1.1	Directivas	604	3.1	Suministro de asentamientos con camiones cisterna	611
1.2	Distribución en planta	604	3.2	Suministro de agua con camiones cisterna en áreas rurales (comunidades de pastoreo y agro-pastoreo)	612
2	**Refugios de emergencia**	605			
B.	**SUMINISTRO DE AGUA EN CAMIONES CISTERNA**	607	*3.2.1*	*Antecedentes*	612
1	**Introducción**	607	*3.2.2*	*Análisis de la situación*	613
1.1	Contexto de la intervención	607	*3.2.3*	*Identificación de las aldeas*	613
2	**La operación**	608	*3.2.4*	*Estimación de las necesidades de agua*	614
2.1	Camiones cisterna	608	*3.2.5*	*Ejecución*	615
2.2	Distribución	609	3.2.5.1	Camiones	615
2.2.1	*Puntos de distribución*	609	3.2.5.2	Herramientas	615
			3.2.5.3	Supervisión y fin de la operación	616

A. INSTALACIONES EN ASENTAMIENTOS

Las concentraciones humanas en campos de refugiados o desplazados, crean ambientes que favorecen la propagación de enfermedades como la malaria, la peste o el tifus y existe un riesgo elevado de epidemias (cólera y otras diarreas). Cuanto mayor sea la densidad de población y menos adecuadas y escasas las instalaciones sanitarias, mayores serán los riesgos para la salud (Tabla 21.I).

1 SELECCIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL TERRENO

Cuando se pueda escoger el terreno, hay que tener en cuenta todas las posibilidades de suministro de agua y saneamiento ambiental (drenaje del agua de lluvia, excavación de fosos de letrinas, acceso al asentamiento). Los entornos más o menos problemáticos (ciénagas, grandes pendientes, etc.) deben excluirse durante la selección. El tipo de suministro de agua es crítico para determinar el lugar definitivo para el asentamiento.

Los asentamientos de pequeña capacidad (algunos millares de personas) son preferibles a estructuras de elevada capacidad. Dependiendo de los recursos disponibles para la creación del asentamiento y de las necesidades básicas detectadas, el desarrollo del mismo se planifica por fases.

Tabla 21.I

Acceso a refugio
- planificación del sitio, zonas de asentamientos, etc. (corredor sanitario, puntos de agua, camino de acceso)
- construcción de refugio básico
- distribución de materiales de construcción

Acceso al agua
- transporte por camión cisterna y distribución por rampas de grifos
- bombeo y tratamiento de agua superficial en tanques, tratamiento y distribución por rampas de grifos
- pozos perforados equipados con bombas manuales
- pozo perforado dotado de una bomba sumergida con una red de distribución
- pozos excavados
- sistema de distribución gravitatorio desde un manantial con captación
- distribución de jerrycans (1 por familia)
- si existe agua salobre o salina, se pueden usar unidades móviles de ósmosis inversa, hasta que se disponga de otros recursos permanentes

Acceso a instalaciones sanitarias básicas
- letrinas, duchas, lavaderos
- vertederos para basura
- control de vectores
- distribución de jabón (aprox. 100 g/persona/mes)

Acceso a servicios de salud
- dispensarios, centros de salud

Caminos de acceso, medidas contra incendios, drenaje, etc.
- creación de vías de acceso (pistas, caminos, espacios entre asentamientos)
- cortafuegos
- alcantarillado o drenaje del terreno

1.1 Directivas

Sumario de los parámetros recomendados para la construcción de un campo planificado:

Tabla 21.II: Directivas para la planificación de un asentamiento (adaptado de UNHCR 2003).

	Recomendaciones
Área de viviendas	
Área total del asentamiento (incluye acceso e infraestructuras, 45 m^2 si se incluyen pequeñas zonas verdes)	30 a 45 m^2/persona
Área de viviendas	3,5 a 5,5 m^2/persona
Área por vivienda (familia)	14 a 30 m^2
Distancias a mantener	
Entre zonas de viviendas	15 a 50 m
Al punto de agua	100 m
A las letrinas o duchas	50 m
Entre refugios	2 m
Cortafuegos	30 m de anchura, cada 300 m

1.2 Distribución en planta

La Figura 21.1 muestra un ejemplo del plano de un campo planificado que incluye las zonas de refugios, caminos de acceso, suministro de agua e infraestructuras sanitarias (drenaje, letrinas, duchas y lavaderos).

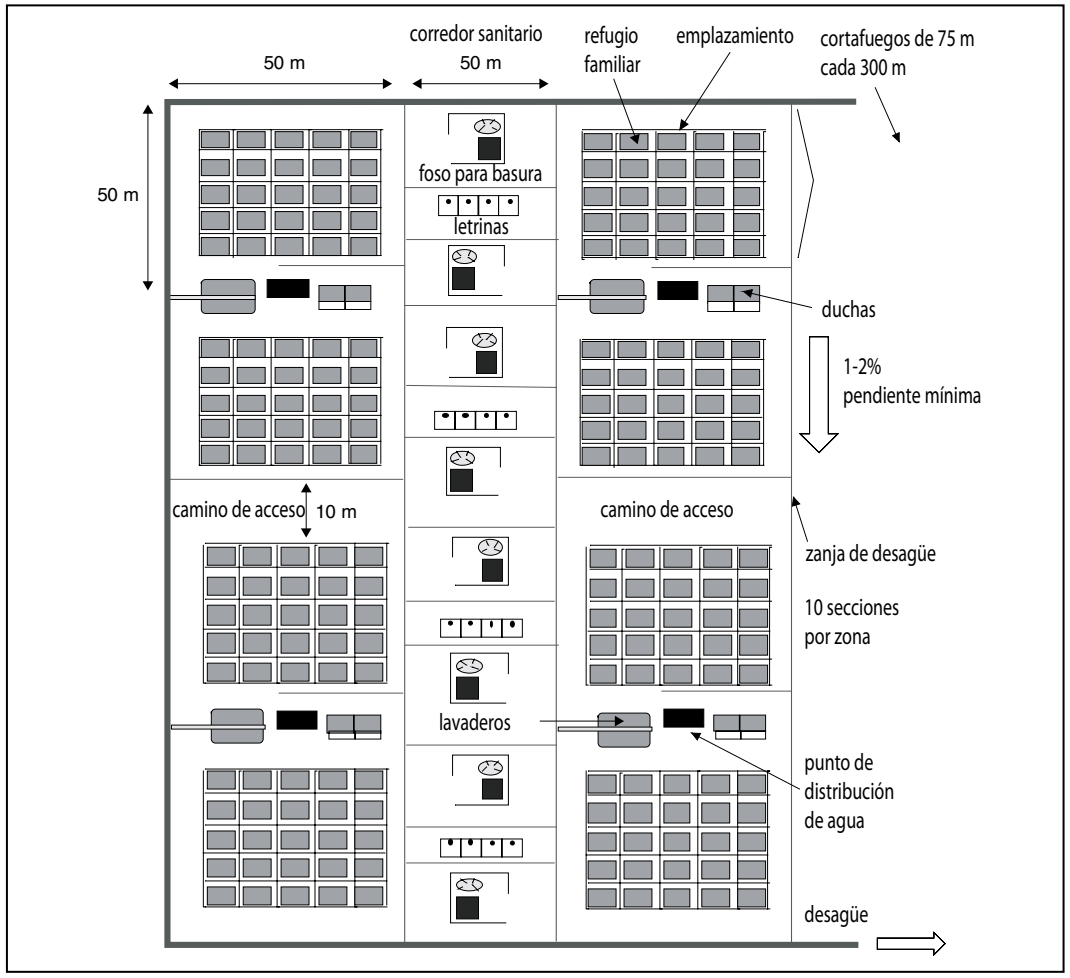


Figura 21.1: Plano de planta de un campo planificado (adaptado de ACF, Ruanda, 1994).

2 REFUGIOS DE EMERGENCIA

La necesidad primaria de las personas desplazadas es encontrar refugio para sí mismas y sus familias, especialmente en climas invernales duros o durante estaciones de lluvias. Generalmente, los edificios públicos son los primeros habilitados para alojar a personas sin hogar. Pero su capacidad se satura rápidamente y la gente tiene que construirse refugios tan pronto como sea posible.

Las agencias humanitarias deben distribuir tiendas de campaña o laminados de plástico que sirvan de techo para protegerse de los elementos. En ocasiones, las agencias han de apoyar la construcción de refugios temporales para los más pobres, o ayudar en la rehabilitación de edificios existentes.

Un ejemplo de refugio de emergencia es el modelo indicado en la Tabla 21.III y Figura 21.2, desarrollado en Liberia. Construido de madera y esteras, el refugio puede albergar hasta 20 personas (5x6 m). Otros tipos de refugios son también adecuados si se pueden hacer con recursos y materiales disponibles localmente (madera, barro, hojas, esteras tejidas, etc.).

Tabla 21.III: Características y construcción de refugios de emergencia para 20 personas.

Mano de obra	1 carpintero y 8 asistentes durante 6 días
Materiales	200 troncos (3 m de longitud, 0,07 a 0,15 m de diámetro) 10 a 12 kg de clavos de 5, 8, y 10 cm 90 m^2 de laminados de plástico o esteras
Herramientas	6 palas, 6 picos, 30 m cuerda (4 mm de diámetro), 6 martillos de carpintero, 1 nivel de burbuja, 4 sierras manuales
Construcción	Señalizar el área con estacas, excavar canales de drenaje alrededor del refugio, excavar agujeros para los postes (profundidad de 0,40 m), verter uniformemente en sitios adecuados la tierra extraída, colocar los postes sostenidos por apoyos o riostras, asegurar con tirantes horizontales. Construcción del techo con vigas cada 20 cm en la dirección de la pendiente para evitar embalsamientos de agua en caso de lluvia (el techo debe sobresalir más de 0,50 m alrededor del perímetro del refugio), fijar planchas de plástico sobre el techo y las esteras sobre las paredes.

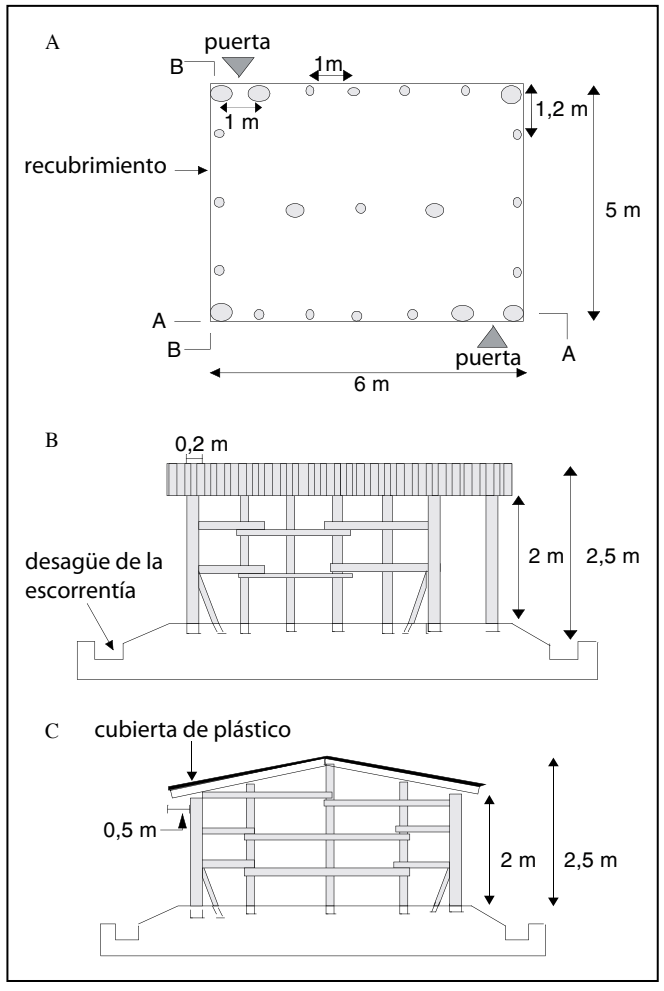


Figura 21.2:
Plano de un refugio colectivo de emergencia (ACF, Liberia, 1994).

A: plano del refugio.

B: sección A-A.

C: sección B-B.

B. SUMINISTRO DE AGUA EN CAMIONES CISTERNA

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Contexto de la intervención

El suministro de agua en camiones cisterna es una solución rápida para asegurar el suministro en situaciones en las que el sistema de distribución falla o no existe y se usa comúnmente como la primera respuesta ante una situación de emergencia. Los trabajos de rehabilitación o construcción de una red requieren su tiempo y recursos y, en algunas situaciones, es preciso dar una solución más rápida al menos hasta que se pueda establecer un sistema de suministro de agua a más largo plazo o termine la emergencia.

El transporte de agua con camiones cisterna se usa generalmente en situaciones en las que se ha destruido el sistema de suministro o ha quedado inservible (por conflictos o desastres naturales), donde las fuentes de agua disminuyen su caudal (sequías) o se contaminan (inundaciones o actividades humanas) y además cuando se desplaza una población a sitios sin agua.

No obstante, el transporte en cisternas debería ser una solución temporal, considerando que proporciona un suministro de agua muy precario (problemas de acceso de los camiones, riesgo de fallo humano o mecánico), además de ser caro y carecer de continuidad. Por esto, se debe prever con anterioridad una estrategia para terminar con este tipo de suministro antes de empezarlo.

Las estrategias de salida requieren soluciones más sostenibles en muchos casos. La estrategia dependerá del contexto, deben tenerse en cuenta previamente los escenarios principales. Los criterios para interrumpir la operación de suministro por cisternas deben estar definidos cuidadosamente desde el principio y han de respetarse para evitar efectos negativos tales como la creación de una dependencia. Esto es particularmente importante en casos en los que la estrategia alternativa no contempla la construcción o rehabilitación de un sistema de suministro a largo plazo. Por ejemplo, se prestó apoyo temporal a una operación de suministro con camiones cisterna en una zona urbana de Haití, cuando el suministro privado por camiones cisterna existente se puso en peligro por un aumento importante de los precios del combustible, originados por controles de carretera tras unas inundaciones. Cuando terminaron los efectos de las inundaciones, y se restablecieron los accesos normales, la interrupción del suministro con cisternas significó el retorno al sistema caro de suministro anterior en el que los usuarios tenían que pagar precios elevados por el consumo. Algunos sectores de la comunidad no aceptaron la decisión y pidieron que continuara la ayuda. Los criterios objetivos de intervención, definidos desde un principio y transmitidos inequívocamente a las comunidades y a las autoridades, facilitan la comprensión del término de la operación del transporte con cisternas.

Otros aspectos importantes a considerar en las estrategias sustitutivas son los puntos de vista de las autoridades y las decisiones políticas en relación con el desarrollo de infraestructuras en el futuro y la planificación del asentamiento. En el caso de poblaciones desplazadas, en las que la construcción de infraestructuras permanentes induce a la población a asentarse, la estrategia sustitutoria es una decisión política que se debe discutir cuidadosamente con las autoridades locales, nacionales e internacionales. A veces, el suministro con camiones cisterna se puede sustituir por soluciones intermedias más baratas (p.ej. sistemas de distribución de emergencia) que no inducen necesariamente al asentamiento permanente.

Un punto importante a considerar cuando se planifican suministros con camiones cisterna es el estudio y explotación de la fuente de suministro de agua. La fuente normal del agua es un tratamiento de agua superficial o una estación de bombeo de aguas subterráneas desde un pozo abierto o perforado. En este caso, la cantidad extraída debe compararse en todo momento con el caudal máximo de explotación, para evitar la sobreexplotación del recurso. Se han de realizar ensayos de bombeo si fuera necesario (ver Capítulo XIV). Es esencial han de realizar análisis bacteriológicos y fisicoquímicos en todos los casos (ver Capítulo V).

Nota: en algunas zonas peri-urbanas, se suministra agua con cisternas en carros tirados por animales desde estaciones de bombeo o sistemas de distribución, que suministran a precios elevados y son altamente vulnerables.

2 LA OPERACIÓN

Los programas de suministro por cisterna requieren la gestión de la fuente de agua, el transporte por camiones cisterna y la distribución a puntos específicos (a puntos de distribución temporal, tales como tanques flexibles con rampas de grifos o alguna infraestructura local como tanques de almacenamiento públicos o domésticos).

Uno de los problemas más importantes es la disponibilidad de camiones y la gestión de su operación; en muchas situaciones el agua se distribuye directamente desde los mismos camiones con lo que se malgasta tiempo y capacidad de suministro. Para optimizar el sistema, es esencial montar tanques y puntos de suministro y planificar el movimiento de los camiones (ver Capítulo III, Sección 2.3.10).

2.1 Camiones cisterna

Los más usados son los camiones cisterna estándar con tracción a dos ruedas, de unos 8000 litros de capacidad y de servicio exclusivo de agua. Se han de tener en cuenta las características de los camiones y el volumen de las cisternas a contratar dentro de la disponibilidad de camiones en la zona y los posibles problemas de acceso (p.ej. los camiones pesados pueden verse bloqueados en la estación de las lluvias).

Si no hay bastantes camiones cisterna en la zona o si son caros, siempre se podrán adaptar depósitos flexibles o rígidos a los camiones con plataforma plana si se fijan adecuadamente. Las cisternas diseñadas específicamente para el transporte de agua están divididas en compartimentos, para minimizar el desplazamiento del agua y asegurar una estabilidad mejor.

El cálculo del coste del suministro por camiones cisterna es importante para definir el coste total del proyecto: coste de compra o alquiler del camión, costes de mantenimiento, consumo de combustible, sueldo del conductor y otros empleados que se requieran, y coste del agua (y de su tratamiento) si es necesario comprarla.

El consumo de combustible depende del tipo y estado del camión, y de las condiciones de la carretera. Suele ser de entre 25 y 30 litros cada 100 km.

La optimización de la capacidad de suministro requiere también una buena estimación del tiempo necesario para suministrar un volumen programado y una buena planificación de los viajes del camión. El número de camiones y los viajes diarios requeridos dependen de la distancia a recorrer y de los tiempos de llenado y vaciado. El promedio de velocidades puede ser de entre 20 y 50 km/h en zonas de caminos deficientes.

El tiempo de carga depende principalmente del caudal que puede suministrar la bomba (se estima en 30 – 60 min). Si la cisterna se descarga en un depósito por medio de una bomba, el tiempo dependerá de la bomba y del volumen de agua, pero puede ser muy corto (menos de 30 min). Si el agua se descarga por gravedad directamente desde la cisterna, el tiempo dependerá del diámetro del tubo de descarga y del volumen de agua a descargar, pero el tiempo total puede ser bastante mayor que con una bomba (más de 2 horas para 8 m^3).

En los contratos de alquiler con los propietarios de los camiones cisterna se debe tener mucho cuidado con los detalles, en particular con las cláusulas que identifiquen claramente la responsabilidad de la empresa que alquila:

– alquiler del vehículo en sí, sin límite de kilometraje;
– sueldo del conductor y del ayudante;
– seguro;
– mantenimiento del camión y posible suministro de combustible y aceite;
– responsabilidad en caso de accidente, incendio o robo.

Además de esto, se pueden añadir cláusulas adicionales como el cambio de conductor si éste no realiza un trabajo satisfactorio, o reemplazar el camión en caso de avería prolongada.

2.2 Distribución

2.2.1 PUNTOS DE DISTRIBUCIÓN

La distribución de agua directamente desde camiones cisterna debe evitarse por razones obvias de eficiencia: largo tiempo de descarga, mala higiene, dificultades para controlar a la multitud, etc. Es preciso establecer puntos concretos de suministro o utilizar el sistema de distribución existente.

Los puntos de suministro deben situarse tan próximos como sea posible a las casas. Los camiones han de ser capaces de maniobrar sin dificultad para descargar en los depósitos de almacenamiento. Estos depósitos han de estar conectados a una o varias rampas de grifos (se recomiendan grifos Talbot u otros que cierren automáticamente para evitar pérdidas), dependiendo de la disposición del lugar.

Los tanques flexibles (bladder), con capacidades de 2000 a 20000 litros, alimentados directamente desde el camión, o desde un mini sistema de distribución (ver Capítulo XVIII) se usan ampliamente para almacenamientos temporales y pueden suministrar agua a centros sanitarios, centros alimentarios, o centros para el tratamiento de cólera. El agua que se distribuye se desinfecta directamente en estos tanques (ver Capítulo VI) o en los mismos camiones cisterna (ver Sección 2.2). Si el agua se ha de tratar con una sedimentación simple o asistida en los tanques de los puntos de distribución, los tanques cebolla o tanques tipo OXFAM son más adecuados que los tanques flexibles (ver Capítulo VI Sección 1.3).

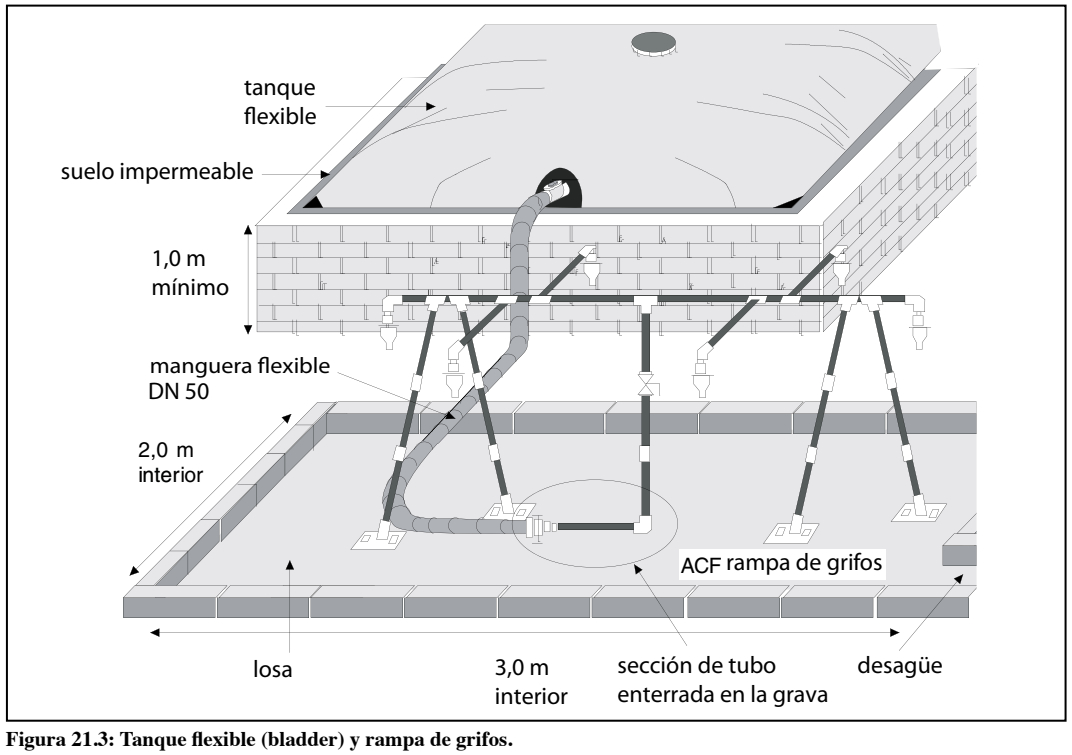


Figura 21.3: Tanque flexible (bladder) y rampa de grifos.

Se recomienda que los tanques flexibles (Figura 21.3 y Tabla 21.IV) tengan dos conexiones de entrada/salida, cada una con válvulas de bola y conexión de 50 mm, así como una conexión central (abertura) de 120 mm. Un punto de agua puede conectarse a la tubería de 50 mm, que sale del tanque.

La instalación del tanque y del punto de agua requiere una serie de operaciones:

– escoger la ubicación: tener en cuenta que el depósito ha de estar más elevado que la rampa de grifos;

– preparar el terreno para recibir el tanque de agua: perfectamente horizontal, plano y limpio (sin grava, piedras, raíces, etc.), a veces se necesita una capa de arena;
– construir una plataforma para la recogida y drenaje de agua alrededor de la rampa de grifos;
– montar la rampa de grifos y fijarla a la superficie.

Tabla 21.IV: Costes y características de los tanques de agua flexibles (2004).

Unidad	Dimensiones del tanque (m)	Coste (€)
Tanque flexible kit – 2 000 l	2,85 x 2,00	650
Tanque flexible kit – 5 000 l	4,00 x 3,00	1 345
Tanque flexible kit – 10 000 l	5,10 x 3,00	950
Tanque flexible kit – 20 000 l	7,50 x 4,00	1 300
Punto de agua (kit de rampa de grifos)		270
Tubo semirrígido de 50 mm (heliflex, 50 m)		300

Hay fuentes disponibles en forma de kits (Figura 21.4) que se pueden montar con varias configuraciones (con número de grifos desde 1 a 6, o más).

La Tabla 21.V muestra el detalle de los componentes de un kit de un punto de agua.

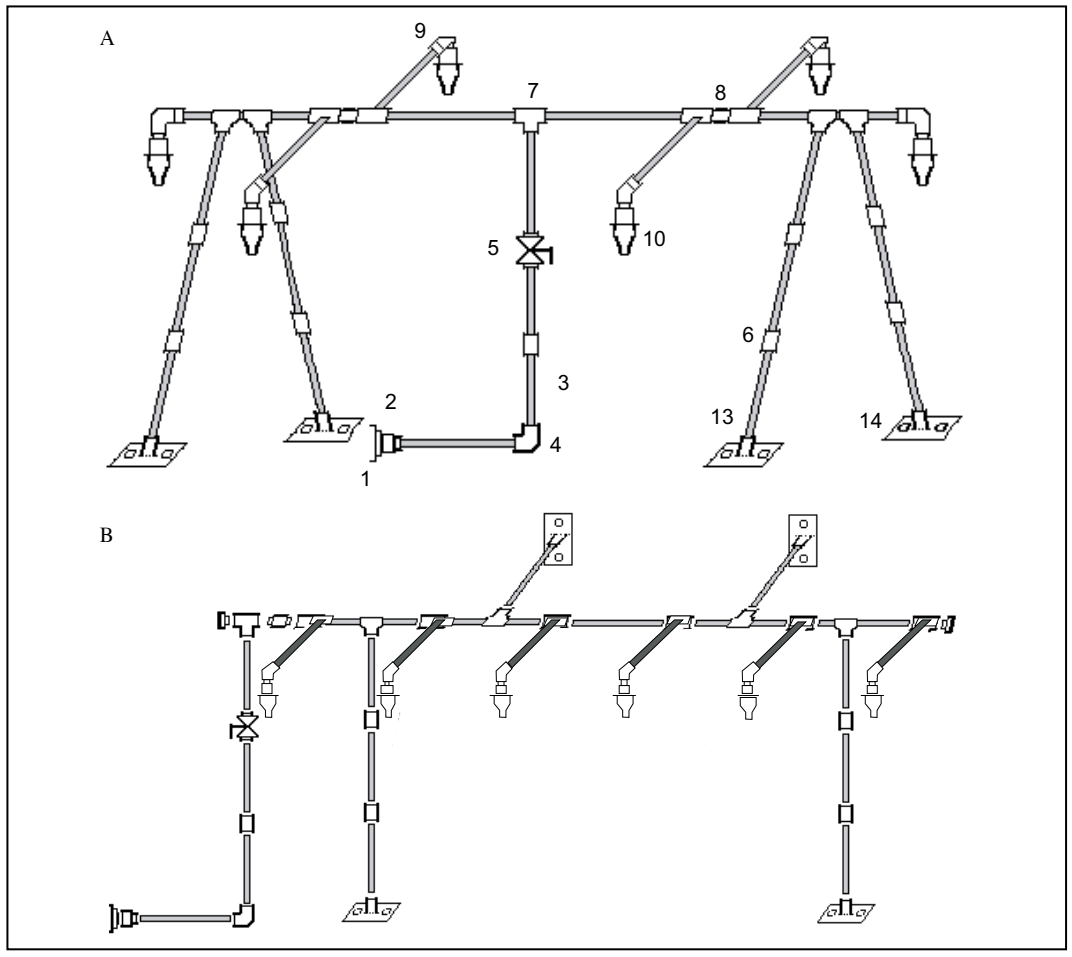


Figura 21.4: Kit de una rampa de grifos de ACF. A: configuración estándar. B: instalación contra una pared.

La distribución de agua requiere también la disponibilidad de recipientes seguros para que las familias transporten y guarden el agua. Las familias deben tener al menos dos recipientes (10 a 20 litros) para el transporte y bastantes recipientes de almacenamiento para disponer de agua en casa en todo momento. Los recipientes deben ser fáciles de llenar y cerrar, tales como jerrycans. Si fuera preciso se deben distribuir jerrycans; la limpieza y desinfección de los recipientes debe ser objeto de promoción por medio de la educación en higiene.

En situaciones de emergencia, la presión de la gente alrededor del punto de agua se vuelve difícil de controlar: el acceso al punto de agua ha de restringirse y la distribución se ha de controlar por un supervisor. La gestión del suministro se presenta también en el Capítulo III, Sección 2.3.10.

Tabla 21.V: Componentes del punto de agua (rampa de grifos) de ACF.

Descripción	Ref. Figura 21.4	Cantidad
Conexión rápida 2"	1	1
Reducción F/F 50/60 2" → 1"	2	1
Tubo 26/34 con roscas (m)	3	24
Codo 90° F/F 26/34 1"	4	1
Válvula de bola 26/34 1"	5	1
Empalme F/F 26/34 1"	6	9
Te 26/34 1"	7	7
Empalme (niple) M/M 26/34 1"	8	2
Reducción F 26/34 1"→M20/273/4"	9	6
Grifo Talbot con codo 20/27 ¾"	10	6
Tapón M 26/34 1"	11	2
Rollo de cinta de teflón	12	3
Conexiones 26/34 para las bases	13	4
Base 26/34	14	4
Tapón F 26/34 1"	15	1
Llave hexagonal	16	1
Llave grifa 18"	17	1

2.2.2 DESINFECCIÓN DEL AGUA

El agua transportada en cisternas debe clorarse siempre. Si la cloración se hace directamente en la cisterna mientras se llena, el cloro actúa durante el transporte (tiempo de contacto > 30 min). No obstante, si el viaje junto con el proceso de llenado y descarga del camión tarda mucho más, la protección proporcionada por el cloro libre residual será menos eficiente. Otro aspecto a tener en cuenta es que el cloro se neutraliza por el hierro y la cloración no es efectiva en cisternas de hierro que no estén recubiertas con una pintura de grado alimentario (epoxi sanitario). La alternativa es desinfectar el agua y hacer el control de calidad en el depósito de almacenamiento del punto de distribución.

3 EJEMPLOS

3.1 Suministro de asentamientos con camiones cisterna

El ejemplo se refiere a un campo de refugiados en Etiopía (1992), sin una fuente de agua y con una población de 10 000 personas. El agua se tenía que transportar desde un pozo a 10 km de distancia por una pista, mientras se esperaba completar la ampliación de una red de distribución desde una aldea próxima.

La demanda diaria de agua se estimó en 150 m^3 (15 l/persona/día), más 20% de pérdidas en el sistema de distribución, lo que resultó una demanda de 180 m^3. Los camiones cisterna tenían una

capacidad de 5.000 litros. A una velocidad media de 20 km/h, se tardaba 30 min en cada viaje. El tiempo de carga en la estación de bombeo dependía del caudal del pozo perforado (5 l/s), mientras que la descarga tomaba 30 min con un tubo de 75 mm (Tabla 21.VI).

Tabla 21.VI: Cálculo del tiempo de un viaje y estimación del número de camiones cisterna necesarios.

Tiempo de carga	17 min
Tiempo de viaje, pozo → campo	30 min
Tiempo de descarga	30 min
Tiempo de viaje campo → pozo	30 min
Tiempo total de un viaje	107 min
30% de seguridad (averías, repostaje)	30 min
Duración total estimada	137 min (2,3 h)
Número de viajes por camión (12 h/día)	5
Volumen de agua transportada por camión y día	5 x 5 000 l = 25 000 l
Número de camiones cisterna requeridos	180 000 l / 25 000 l = 7

Por tanto, siete camiones cisterna de 5 000 litros haciendo 5 viajes diarios cada uno podían suministrar (en condiciones ideales) 15 litros por persona y día a 10 000 personas. Es aconsejable, de todas formas, contratar un camión cisterna en exceso para cubrir problemas inesperados (averías, pinchazos, problemas con el propietario, etc.). Las cisternas descargaban en cuatro tanques de 20 000 litros que alimentaban los sistemas de distribución de emergencia, consistentes en 2 -3 rampas con 4 – 6 grifos, que, a su vez, daban 0,1 a 0,2 l/s de agua.

3.2 Suministro de agua con camiones cisterna en áreas rurales (comunidades de pastoreo y agro-pastoreo)

3.2.1 ANTECEDENTES

La zona de Korahai, en la región somalí de Etiopía, es una región semiárida habitada por pastores y agricultores-pastores (cría de camellos, vacas, ovejas y cabras), cuyos medios de vida dependen directamente de la disponibilidad de agua. La precipitación anual, entre 300 y 400 mm, se divide en dos estaciones: *deyr* (octubre a diciembre) y *gu* (abril-junio). Desde los años ochenta, la región se ha visto afectada por una persistente sequía (considerada localmente como la pérdida de dos estaciones de lluvias junto con escasas precipitaciones en las Tierras Altas). En consecuencia, la región tiene cada vez menos recursos hídricos permanentes. Los puntos de agua son pozos perforados de gran profundidad, pozos excavados poco profundos (< 20 m), *birkads* (ver Capítulo VIII) y aguas superficiales (cursos temporales y estanques). Cuando no llueve bastante, los acuíferos que se explotan con pozos excavados no se recargan y los *birkads* se vacían más deprisa de lo normal.

Cuando tiene lugar esta situación, las comunidades ponen en práctica mecanismos para afrontarla, que según el nivel de carestía y pérdida de medios de vida consisten en:

– traslado del ganado hasta otros puntos de agua;
– suministro caro de agua por camiones cisterna contratando transporte privado (para consumo humano y ganado pequeño);
– endeudamiento;
– búsqueda de nuevas fuentes de ingresos;
– emigración;
– cambios en la dieta alimenticia;
– caridad y asistencia humanitaria.

El transporte de agua en camiones cisterna (a veces en tanques flexibles) para rellenar *birkads* es una solución para evitar la pérdida total de los medios de vida para mucha gente. Pero el transporte por cisterna tiene simultáneamente efectos negativos asociados que hay que tener en cuenta antes de decidir cualquier tipo de intervención. Los riesgos son:

– destrucción de los mecanismos normales para afrontar estas situaciones;
– asentamiento de poblaciones en lugares en los que las disponibilidades naturales de agua no son las adecuadas para las necesidades;
– creación de una dependencia de las intervenciones humanitarias;
– desarrollo de un sistema propiciado por operadores comerciales locales que excluye a las familias más pobres;
– desplazamiento de la población hacia los puntos de distribución.

Por otra parte, cada año, durante la estación seca, la población sufre un nivel de carestía que puede justificar una intervención humanitaria. Pero suponiendo que el suministro con camiones cisterna sea una respuesta humanitaria de emergencia que no se pueda implementar todos los años, hay que definir indicadores claros para determinar el comienzo de una intervención, así como su final. Estos indicadores, relacionados con las lluvias y otros parámetros económicos, no son fáciles de definir objetivamente y no se entienden ni son aceptados por las autoridades ni por las comunidades afectadas.

3.2.2 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN

En febrero de 2004, los primeros indicadores de la crisis fueron:

– las lluvias anteriores (*deir*) se retrasaron dos meses y fueron escasas;
– el río Faffen de curso estacional llevaba un caudal limitado, que no permitía actividad agrícola alguna en las áreas agro-pastorales del distrito de Korahai;
– la mayor parte de los *birkads* se vaciaron antes de lo normal;
– el rendimiento de los pozos era anormalmente bajo con aumento de la salinidad del agua;
– 3 de cada 10 estaciones de bombeo en pozos perforados existentes en el distrito de Korahai estaban operativas;
– el transporte privado y caro por camiones cisterna, implementado antes de lo habitual, era el único medio de proporcionar agua en la mayoría de las áreas que dependían de los *birkads*;
– los pastos eran insuficientes y los rebaños se concentraron, por tanto, en otros pastos mejores que fueros sobreexplotados;
– denegación de créditos de agua (*);
– aumento de la mortalidad del ganado;
– ruptura de los mecanismos de solidaridad;
– comienzo de un proceso de eliminación (consumo) de reservas;
– caída de los precios del ganado.

En este contexto, ACF-Etiopía decidió hacer estudios con mayor profundidad para diseñar una intervención basada en el suministro con camiones cisternas.

(*) El crédito de agua es un mecanismo para afrontar situaciones de carestía usado normalmente por familias pobres en años normales. Pero estos créditos de agua empiezan a fallar cuando los que los prestan perciben que el crédito no se va a devolver. Un precio normal para la venta de agua en tiempos de sequía es de 2 birrs por 20 litros. Para una familia de 10 personas, que necesita agua también para un poco de ganado, el crédito puede ser muy elevado al final de un período de sequía.

3.2.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS ALDEAS

Se seleccionaron las aldeas objetivo de la intervención según la demanda recibida de las autoridades locales y las comunidades, que ACF verificó con evaluaciones de campo. Estas evaluaciones recogieron dos clases de información, unas relacionadas con la falta de recursos hídricos y otras relacionadas con la situación económica. La intervención se decide sólo cuando la falta de agua produce (o puede producir) una ruptura de los medios de vida. Se recoge la siguiente información:

– lluvias (como son esporádicas, hay que hacer encuestas locales);
– productividad de los puntos de agua existentes (capacidad, distancia, sistema de bombeo, etc.);
– operaciones en marcha de suministro por camiones cisterna;

– tipos y estado de las actividades económicas (pastoreo, agricultura, comercio, etc.);
– mecanismos desarrollados para afrontar la situación (reducción de existencias, emigración, etc.);
– número de familias y de personas existentes en las aldeas o asentamientos;
– grado de asentamiento (costumbres y capacidad de mudarse);
– infraestructuras (hospitales, escuelas, mercados, etc.).

Tras la encuesta, se definieron el grado de emergencia y las necesidades de agua de cada lugar visitado. Antes de comenzar el suministro de agua con camiones, se mantuvo una reunión con los jefes de cada comunidad para redactar y firmar los términos del acuerdo. También se creó un comité en la comunidad para recibir y gestionar el agua.

3.2.4 ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES DE AGUA

Los criterios para la estimación de las necesidades son complicados a causa del desplazamiento de la población. Hay que incluir las necesidades de las personas y de los animales. Para hacer la estimación se hacen varias suposiciones:

Población

– número de casas = número de familias;
– una familia = 10 personas (según el censo nacional de 1994);
– el mínimo suministro de agua en estas circunstancias = 10 litros por persona y día (según las normas de ACF, en Kebri Dehar).

Ganado

Desde el comienzo de la crisis, los pastores se mudaron con sus camellos, que pueden andar durante 8 – 10 días sin beber, a puntos de agua permanentes (generalmente pozos perforados). El resto del ganado relacionado con las familias en las áreas identificadas con escasez de agua ha de abrevarse con agua de camiones cisterna. Este ganado suele componerse de animales débiles, lactantes o preñados. Por esto, la intervención trata de suministrar agua a las familias para que abreven los animales y así, limitar la pérdida de ganado y tener una producción de leche que usan directamente las familias.

La Unidad Somalí de Ganado (SLU) es lo que se usa para estimar el consumo diario de agua por parte del Ganado en períodos de sequía:

– ovejas 10 l cada 3 días = 3 l/d;
– cabras 15 l cada 5 días = 3 l/d;
– burros 20 l cada 2 días = 10 l/d;
– vacas 40 l cada 2 días = 20 l/d;
– camellos 160 l cada 8 días = 20 l/d (los camellos abrevarán en puntos de agua permanentes).

Cada SLU equivale a un consumo de 20 litros de agua diarios. De modo que 1 SLU corresponde a 1 camello = 1 vaca = 2 burros = 6,5 ovejas/cabras.

Según la encuesta sobre el límite básico alimentario de una familia en la zona de Korahai ("Household Baseline Food Economy Survey in Korahai zone") ACF 2001, las necesidades medias de una familia de pastores "muy pobre" son de unas 5,5 SLU (en promedio tienen 2 vacas, 1 burro y 20 ovejas y cabras). Y las de una familia de agro-pastores también "muy pobre" es de unas 3,75 SLU (en promedio tienen1 vaca, 1 burro y 15 ovejas y cabras). Las aldeas pequeñas y medianas se consideran pastorales (el ganado es la única fuente de sustento) y las aldeas grandes son agro-pastorales o semi-pastorales (las fuentes de subsistencia son, además, la agricultura, puntos de distribución de alimentos y otros comercios).

En conclusión, se estima que:

– una familia pastoral necesita un mínimo de 210 litros/persona/día de agua;
– una familia agro-pastoral o semi-pastoral necesita 175 litros/persona/día.

A lo largo de la ejecución del programa, la supervisión permite identificar errores en las estimaciones de partida y en las peculiaridades de una aldea y se ajustan adecuadamente las necesidades de agua a suministrar.

3.2.5 EJECUCIÓN

3.2.5.1 CAMIONES

En la ejecución del programa, 15 camiones suministraban 244 m³ por día a 27 aldeas, cubriendo el 88% de las necesidades estimadas, y tomando agua de cuatro pozos perforados.

Los camiones hacían un promedio de 160 km/día. Los precios eran 55 €/día para camiones pequeños de 6 m³ y 130 €/día para los grandes de 20 m³. Verificando el repostaje de varios camiones, se estimó un consumo de 35 litros cada 100 km para los camiones pequeños y 45 litros cada 100 km para los grandes (Tabla 21.VII). Los caminos en mal estado y arenosos y la calidad de los camiones explican este consumo tan elevado.

Tabla 21.VI: Coste del transporte en camiones cisterna.

	Agua suministrada (l)	Alquiler del camión €/día	km	Consumo l/km	Coste del combustible €/l	Coste total del agua €/l
Camión pequeño	6 000	55	160	0,35	0,4	0,0129
Camión grande	20 000	130	160	0,45	0,4	0,00794

Nota: estos precios no representan los precios totales de un programa, ya que en este caso el coste del personal fue nulo.

Problemas concretos que aparecieron:

– conflictos entre clanes limitaron el acceso;
– los propietarios de los *birkads* vendían el agua suministrada;
– el "Water Bureau", autoridad con responsabilidad sobre el agua, trató de sacar provecho de los pozos perforados;
– grupos armados y soldados paraban los camiones para demandar agua.

3.2.5.2 HERRAMIENTAS

Se han desarrollado varias herramientas para gestionar la actividad de suministro de agua con camiones cisterna:

– una carta de entendimiento (dos copias);
– un impreso para supervisar el suministro de agua, registro de fechas, aldeas, agua suministrada, consumo de combustible, firma del conductor, firma del responsable de ACF, firma del comité de agua y agua remanente del suministro anterior (ver Tabla 21.IX);
– un impreso con los nombres y responsabilidades de los integrantes del comité y las normas de la gestión;
– un libro de trabajo interactivo "Excel" para supervisar y mantener al día el programa de suministro de cisternas (ver Tabla 21.VIII);
– un mapa con todas las coordenadas GPS.

Tabla 21.VIII: Tabla de cobertura de las necesidades.

Lugar	Distancia desde el pozo perforado (km)	Número estimado de casas	Número estimado de personas suministradas	Número estimado de SLU suministradas	Estimación de las necesidades m^3/día	Agua suministrada m^3/día	Cobertura estimada de las necesidades	Supervisión
Balawiririi	30	15	150	82,5	3,2	3,1	99%	
Karsoni	25	25	250	137,5	5,3	6,3	119%	A verificar
Xodayle	30	10	100	55	2.1	3,1	149%	Se observó que el agua se acababa antes de lo previsto debido a la inmigración. Se incrementaron los suministros en un 50% sobre la estimación inicial.
Maracaato	30	200	2 000	750	35,0	33,0	94%	
Karambicile	25	15	150	82,5	3,2	3,0	95%	
Fooljex	40	10	100	55	2,1	1,5	71%	A verificar
Jiic	50	25	250	137,5	5,3	5,5	105%	
GaboGabo	75	180	1800	675	31,5	26,7	85%	A verificar
Landher	62	45	450	247,5	9,5	9,4	99%	
Toonceley	85	25	250	137,5	5,3	5,5	105%	
Farmadow	92	100	1000	375	17,5	16,8	96%	
Higloleey	60	150	1500	825	31.5	19,7	62%	Se observó que quedaba agua del suministro precedente por el uso de algunos pozos salinos para abrevar ganado. Se disminuyó el suministro respecto a la primera estimación
Beneficiarios directos			14500	6610	277	244	88%	

3.2.5.3 SUPERVISIÓN Y FIN DE LA OPERACIÓN

Cada entrega tiene un seguimiento por parte un supervisor de ACF (ver Tabla 21.IX), quien rellena los impresos e informa de cualquier incidencia. De este modo, la cantidad de agua a suministrar puede ajustarse al tiempo que se identifica cualquier problema nuevo que pueda surgir (p.ej. nuevos movimientos de población). En caso de problemas, el supervisor visita la aldea. Se debe prestar especial atención a la migración de población originada por la distribución con camiones cisterna y la mala gestión del agua (venta de agua).

Como la lluvia es la principal fuente de agua para las comunidades pastorales y agro-pastorales, el final de la operación estará ligado lógicamente al retorno de las condiciones pluviométricas normales. Cuando las precipitaciones bastan para rellenar los *birkads* y los estanques naturales y se rellenan los acuíferos superficiales, se debe interrumpir el suministro con camiones aunque la población presione insistiendo en su continuidad.

Nota: En la región de los Afar de Etiopía, ACF implementó una operación de suministro con camiones cisterna en 2002. La supervisión confirmó la observación de que el consumo de agua de los tanques flexibles fue mayor cuando volvieron las lluvias porque la población consideró que ya no se dependía de la lluvia, y se dedicaron a consumir despreocupadamente. ACF se vio en la situación paradójica de detener el suministro con camiones cuando el consumo era máximo, ya que el agua que se entregaba creaba un confort artificial que, a su vez, hubiera creado una dependencia a largo plazo. Esta decisión fue difícil de aceptar localmente, especialmente por que otras ONG seguían asistiendo a la población.

Tabla 21.IX: Archivo de supervisión.

CAMIÓN				PROPIETARIO						
FECHA	KILOMETRAJE REALIZADO	POZO DE SUMINISTRO	LITROS DE AGUA	LITROS DE COMBUSTIBLE POR CAMIÓN	LITROS DE COMBUSTIBLE POR GENERADOR	FIRMA DEL CONDUCTOR	FIRMA DEL MONITOR DE ACF	FIRMA DEL COMITÉ	AGUA RESTANTE	COMENTARIOS

CAPÍTULO XXII

Cólera

1 Cólera: aspectos generales 621
1.1 Vibriones del cólera 621
1.2 Signos clínicos y síntomas 621
1.3 Contagio 621
1.4 Evitando el contagio 622
1.5 Tratamiento 622
1.6 Vacunación 622
1.7 Inmunidad natural 623
1.8 Riesgos para el personal sanitario 623
1.9 Epidemias 623
1.10 Factores epidemiológicos 624
2 Evaluación de la situación 625
2.1 Confirmación de los casos declarados, implementación de un sistema de vigilancia 625
2.2 Epidemias anteriores 625
2.3 Estudios sanitarios 625
2.4 Grupo de trabajo del cólera 626
3 Estrategia de intervención 626
3.1 Desarrollo de la epidemia 626
3.1.1 Determinación del número de enfermos 626
3.1.2 Evaluación de la duración de una epidemia 626
3.2 Estrategia/acciones sanitarias 626
4 Tipos de intervención 627
4.1 Centro de tratamiento del cólera (CTC) de gran capacidad 627
4.2 Unidad de tratamiento del cólera (UTC), de menor capacidad 628
4.3 Puntos de rehidratación Oral (ORP) 628
4.4 Vínculo con estructuras locales 628
4.5 Apoyo al ministerio de sanidad 629
4.6 Acciones de emergencia 629
5 Centro de tratamiento del cólera (CTC) 629
5.1 Planificación 630
5.2 Elección del sitio 631
5.3 Diseño de un CTC 632
5.4 Suministro de agua 635
5.4.1 Almacenamiento 636
5.4.2 Distribución 636
5.5 Instalaciones sanitarias 636
5.5.1 Pediluvios e instalaciones de lavado de manos 636
5.5.2 Foso para el vertido de excrementos 637
5.5.3 Letrinas 638
5.5.4 Duchas 638
5.5.5 Incinerador 638
5.5.6 Puntos SRO e instalaciones para lavado de manos 638
5.5.7 Lavaderos 638
5.5.8 Instalación para la preparación de soluciones 638
5.5.9 Equipos menores 638
5.5.10 Drenaje 638
5.6 Refugios 639
5.7 Barreras sanitarias 639
5.8 Gestión 640
5.8.1 Organigrama 640
5.8.1.1 Personal expatriado o personal de dirección 641
5.8.1.2 Personal local 641
5.8.2 Descripción de los puestos de trabajo sanitarios 641
5.8.2.1 Supervisor sanitario 641
5.8.2.2 Preparador de las soluciones 641
5.8.2.3 Técnico de las instalaciones sanitarias 642
5.8.2.4 Técnico sanitario de la tienda de campaña 642
5.8.2.5 Limpiador de la tienda de campaña 642
5.8.2.6 Pulverizador 642
5.8.2.7 Pulverizador de la entrada 643
5.8.2.8 Técnico/pulverizador sanitario del área Neutral. 643
5.8.2.9 Técnico sanitario de los pediluvios 644
5.8.2.10 Empleado de mantenimiento 644
5.8.2.11 Empleado del tanatorio 644
5.8.2.12 Empleados de lavandería 644
5.8.3 Contratación y Formación 644
5.8.3.1 Perfiles del personal 644
5.8.3.2 Formación 645
5.8.4 Información 645
5.9 Otras estructuras y contextos 646
5.9.1 Edificio 646
5.9.2 Centros de poca capacidad (CTU, ORP) 646
6 Acciones en la comunidad 646
6.1 Promoción de higiene, sensibilización y búsqueda activa de nuevos casos 646
6.2 Equipos de desinfección 647
6.3 Lugares públicos: desinfección y sensibilización 647
6.4 Mejora en la calidad del agua 648
6.4.1 Cloración de los puntos de agua 648
6.4.1.1 Sistema municipal de distribución del agua 648
6.4.1.2 Pozos poco profundos perforados o excavados 649
6.4.2 Distribución de desinfectantes a domicilio 649
6.4.3 Cloración directa de recipientes en el punto de agua (Bucket chlorination) 651
7 Fin de la intervención 652
7.1 Retirada 652
7.1.1 Centro de tratamiento gestionado o apoyado por una ONG 652
7.1.2 Verificación y mejora de la calidad del agua 652
7.1.3 Equipos de desinfección, búsqueda activa y promoción de la higiene 653
7.2 Evaluación 653
7.2.1 Supuestos de partida 653
7.2.2 Datos epidemiológicos 653
7.2.3 Costes 654
7.3 Respuesta tras el cólera 654

El cólera es una de las muchas enfermedades diarreicas existentes, siendo ésta la que mejor se conoce y la que tiene mayor divulgación. Hay otras enfermedades diarreicas que pueden causar muchas más víctimas, con epidemias (por ejemplo, en Guatemala en 1968, con 120 000 casos de shigellosis y 12 000 muertes en un año), o en situaciones de pobreza crónica (en Sudamérica las enfermedades diarreicas son responsables de una tercera parte de la mortalidad infantil).

La falta de suministros adecuados de agua potable y de saneamiento, así como la falta de educación, todo ello sinónimo de pobreza, hacen que la lucha contra las enfermedades diarreicas, se presenten o no en forma de epidemias, sea una prioridad en muchos países. En este contexto, los programas WASH de ACF contribuyen a una mejora general de la salud gracias a la actuación sobre campos complementarios como son la mejora de las infraestructuras y de la educación, para los que se necesita la colaboración estrecha de la profesión médica. Por último, toda intervención en una epidemia depende del contexto, de modo que los principios generales que aquí se presentan han de adaptarse a cada contexto específico.

El tratamiento médico del cólera y las medidas sanitarias dirigidas a prevenir su transmisión no son muy complicados técnicamente. Lo esencial es responder con rapidez, actuar con orden y tener una logística efectiva. Es por tanto necesario estar preparado (Figura 22.1).

En este capítulo se presentan las principales particularidades del cólera, mostrando seguidamente las diversas etapas necesarias para la creación e implementación de un programa sanitario.

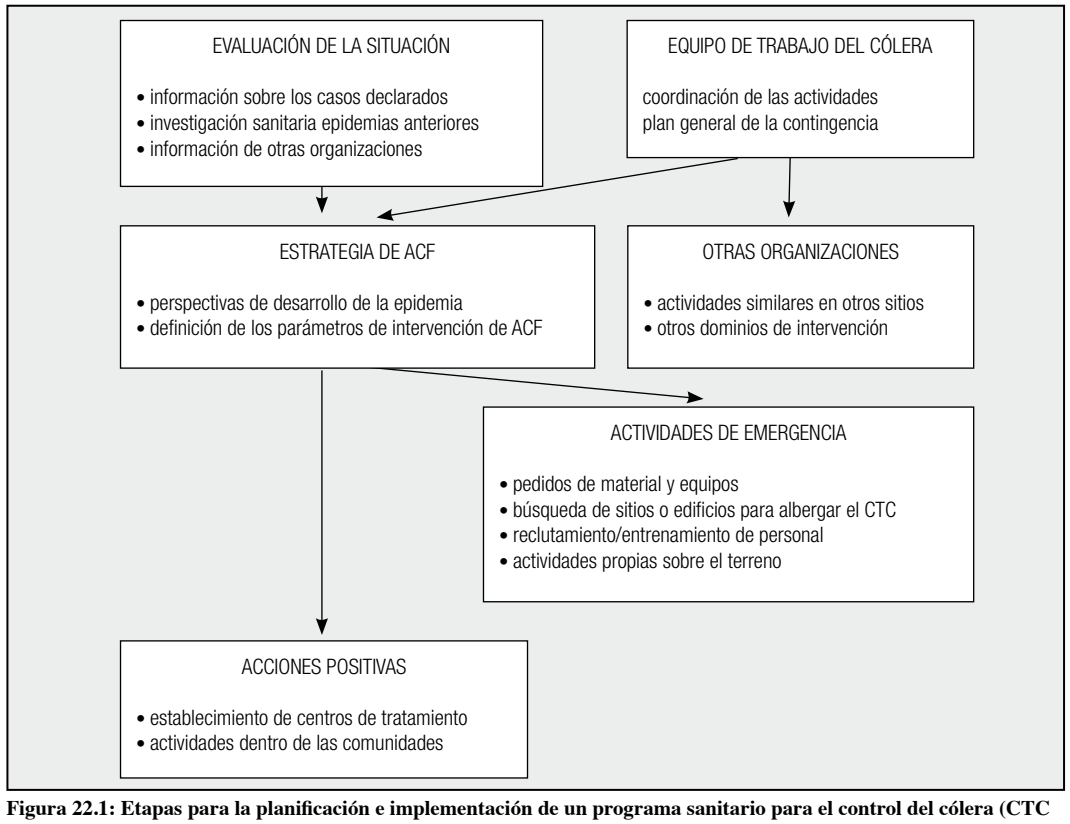


Figura 22.1: Etapas para la planificación e implementación de un programa sanitario para el control del cólera (CTC – Centro de Tratamiento del Cólera - ver Sección 5).

1 CÓLERA: ASPECTOS GENERALES

1.1 Vibriones del cólera

Los vibriones del cólera son bacterias que pueden causar cólera cuando se ingieren. El desarrollo o no de la enfermedad depende de la cantidad de vibriones ingeridos (la dosis infecciosa es del orden de 100 000) y de la capacidad del organismo de defenderse frente a esta infección. En cierto modo, la acidez del estómago es fatal para los vibriones (se llama barrera gástrica). Es posible también ser un portador saludable (ver Sección 1.3).

Los vibriones producen una toxina que estimula las células de la pared del intestino haciendo que bombeen agua y sales minerales de la sangre y otros tejidos hacia el interior del intestino.

Fuera del cuerpo humano, los vibriones del cólera pueden sobrevivir desde varios días a varios meses en un ambiente favorable, como los medios húmedos alcalinos y los medios salinos (sudor, pozos salobres, desagües). Por otra parte, no sobreviven a la sequedad, a la acidez ni a la insolación, y además han de competir por su supervivencia con otros microorganismos.

1.2 Signos clínicos y síntomas

Tras un período breve de incubación de 2 ó 3 días, los pacientes presentan varios síntomas:

– diarrea frecuente y abundante (varios litros en pocas horas) con deposiciones acuosas e incoloras, "agua de arroz" (con grumos) y ligero olor a pescado. Generalmente sin fiebre;

– vómitos (frecuentes), a veces con retortijones dolorosos.

En pocas horas, la deshidratación y el agotamiento pueden ser fatales. Los niños menores de dos años raramente se ven afectados, mientras que la muerte de adultos saludables en 24-48 horas es un indicador de cólera. De acuerdo con la OMS (1993), se debe sospechar de cólera cuando:

– un paciente de más de 5 años desarrolla una deshidratación seria debida a una diarrea acuosa aguda (acompañada generalmente de vómitos);

– cualquier paciente de más de 2 años tiene una diarrea acuosa aguda en una zona en la que se registra un brote de cólera.

La verificación bacteriológica es esencial para confirmar la presencia de una epidemia y es preciso realizar un estudio de antibióticos para determinar la sensibilidad a los mismos.

1.3 Contagio

Los seres humanos son los mayores portadores de vibriones, que se encuentran en cantidades considerables en las deposiciones (1 000 000 por gramo), en los vómitos de los enfermos de cólera y en los cadáveres (líquidos y contacto con la piel post mortem…).

Los portadores sanos son también fuentes de contagio siendo un peligro a causa de su movilidad y de la ignorancia acerca de su estado: en un área costera endémica del África Occidental se detectaron hasta 25 portadores sanos por cada persona enferma. No obstante, la proporción de personas enfermas/portadores sanos generalmente está próxima a 1 a 10.

El período de evacuación del vibrión no excede de una semana en el 70% de los casos (el 90% de los portadores no evacuan vibriones después de dos semanas).

Las dos vías principales de transmisión de los vibriones del cólera a partir de las deposiciones y de los vómitos son el contacto manual (el cólera es "la enfermedad de las manos sucias") y el agua (fuentes contaminadas y puntos de agua). Una higiene deficiente contamina las manos, que, a su vez, contamina los alimentos, platos, ropa, agua y otras manos. En tanto que el contacto manual en sí es siempre una forma de contagio, el agua puede tener poco o ningún efecto contagioso bajo determinadas condiciones.

El agua, especialmente si es salobre y fangosa (en puertos, por ejemplo), es un buen medio en el que el vibrión puede sobrevivir durante meses; este es el caso en Mogadiscio, Somalia. Si el medio tiene una reposición periódica de portadores contaminantes, puede volverse contagioso permanentemente. Algas, peces y moluscos se vuelven contaminantes también al concentrar los vibriones presentes en el entorno.

Por otra parte, las moscas, aunque son comúnmente conocidas como vectores de transmisión, no son capaces de transportar la suficiente cantidad de vibriones para ser consideradas como vectores significativos en la transmisión del cólera.

1.4 Evitando el contagio

Las acciones deben llevarse a cabo sobre:

– los pacientes enfermos (fácilmente identificables), que deben ser aislados y tratados en un centro especializado con estrictas medidas de desinfección;

– los portadores sanos: los que no se pueden identificar, las personas en situación de riesgo, incluyendo los familiares del enfermo;

– las zonas de transmisión: puntos de agua, campos de defecación, lugares de reunión (mercados, escuelas, iglesias, etc.).

1.5 Tratamiento

La enfermedad puede ser mortal, pero si se hospitaliza a los pacientes y éstos son tratados con rapidez, la recuperación es rápida y espectacular. En ocasiones, algunos enfermos pueden recuperarse sin asistencia alguna, pero mientras tanto pueden haber infectado a otras personas que no tienen siempre la misma probabilidad de sobrevivir. Es esta la razón por la que el tratamiento requiere el aislamiento del paciente de la comunidad en un centro especializado para el tratamiento del cólera (Figura 22.2).

INGESTIÓN DE VIBRIOS

síntomas	severos		diarrea moderada	ninguno
	deshidratación severa	deshidratación moderada		
tratamiento	IV (Intra Venosa) + SRO + antibióticos	SRO + antibióticos		
desarollo	muerte/recuperación	recuperación	recuperación	
contagio	muy grave		grave	moderado
situación	enfermos en el CTC		portadores sanos	

Figura 22.2: Cólera: síntomas, tratamiento, contagio.

Inicialmente, se lleva a cabo una rehidratación rápida, dependiendo de la seriedad de los síntomas y del grado de deshidratación:

– Por vía oral, con agua y una solución de sales de rehidratación oral (SRO) si la deshidratación es moderada (grados A y B de deshidratación). Esta solución (SRO) tiene prácticamente la misma composición que las pérdidas del enfermo, pero contiene más glucosa para facilitar su absorción.

– Por vía intravenosa (IV), con lactato de Ringer (envase de plástico que contiene un litro de solución lista para usar) si la deshidratación es severa (grado C). Este método más técnico permite salvar pacientes graves, pero requiere un control preciso y una gran cantidad de solución (cantidad parecida a las pérdidas por deposición y vómitos, hasta 8 litros/persona/día en los casos más severos). El enfermo debe continuar con la rehidratación SRO tan pronto como sea posible (cuando se reduzcan los vómitos).

Para evitar el desarrollo de resistencias y para evitar una mayor complejidad en el tratamiento, no se administran antibióticos de forma sistemática. No obstante, el tratamiento con antibióticos tiene la ventaja de reducir la gravedad y duración de la diarrea (y por tanto el uso del lactato de Ringer y el tiempo de permanencia en el centro de tratamiento), y especialmente el de reducir el período durante el que se es portador a unos pocos días (y por tanto la posibilidad de contagio). El tratamiento de quimioterapia está sujeto a mucha controversia.

1.6 Vacunación

Existe una vacuna contra el cólera, pero es difícil de poner en marcha porque requiere dos dosis, que se tienen que administrar en un intervalo de 10 días. Las recomendaciones de la OMS después de 1999 han sido actualizadas en 2002 y 2005 y aplicadas en Beira (Mozambique) donde los estudios de los casos han mostrado una gran eficacia endémica. En Darfur (Sudán) y en Aceh (Indonesia) la escasez de casos no ha permitido demostrar la eficacia de la vacuna.

La vacunación es adecuada como sistema de prevención, pero después de los primeros casos, su puesta en marcha es demasiado complicada para luchar de manera eficaz contra la epidemia.

1.7 Inmunidad natural

Esta clase de inmunidad natural, creada como resultado de una infección de cólera, es proporcional a la seriedad de los síntomas. La inmunidad a una infección, con o sin síntomas, se adquiere rápidamente en menos de una semana y tiene una duración de menos de tres meses. Esto explica en parte el hecho de que, en un área endémica, las epidemias puedan darse a escala limitada pero también puedan reaparecer al cabo de pocos meses.

1.8 Riesgos para el personal sanitario

El personal que trabaja en los centros de tratamiento del cólera y que está en contacto con los enfermos no son más propensos al contagio que la población en general si se respetan las medidas sanitarias. Además, la detección es casi inmediata de modo que el tratamiento es rápido y efectivo. Sin embargo la cercanía con los enfermos y los cadáveres aumenta mucho el riesgo para el personal si las medidas sanitarias no son respetadas.

1.9 Epidemias

Las epidemias se clasifican según el entorno (Figura 22.3).

En regiones húmedas durante la estación lluviosa (áreas endémicas), los brotes de la epidemia pueden afectar al 1 ó 3% de la población, partiendo de un estado endémico relacionado con un portador con baja densidad de vibriones (el agua). Al tratarse de una situación endémica, la población conoce los síntomas de la enfermedad, tiene algún grado de inmunidad natural y el personal sanitario tiene experiencia en su gestión. Estos factores tienden a causar epidemias con una baja proporción de enfermos y tienen las siguientes características:

– el pico de la epidemia tiene lugar al cabo de 3 ó 4 semanas;

– duración de 2 meses;

– ejemplo: regiones costeras de África Occidental.

En regiones secas durante la estación seca, los brotes epidémicos son breves e intensos y pueden afectar excepcionalmente hasta el 30% de la población cerca de los focos de infección. El contagio es directo, de persona a persona. No se convierte en endémica al no ser favorable el entorno. No hay autoinmunización derivada de la exposición previa reciente y hay una ignorancia generalizada de los

síntomas. El número de portadores sanos es escaso (5 portadores por persona enferma). Los contactos por relaciones debidas al transporte (comercio) favorecen el contagio periódico de estas zonas por las áreas endémicas:

– el pico de la epidemia tiene lugar al cabo de 10 ó 12 días;

– ejemplo: países del Sahel (Chad, Malí).

De hecho, raramente se dan estos extremos. Las características de una epidemia dependen de multitud de factores, principalmente de la intervención humana, que puede hacer disminuir su efecto, especialmente si se actúa rápidamente. En un entorno cerrado (asentamiento), es relativamente fácil vigilar la calidad del agua e implementar medidas de desinfección y así poder limitar la aparición diaria de nuevos casos y disminuir el número total de enfermos. Actuar en un entorno abierto es más difícil, requiere un análisis cuidadoso del origen de los casos, así como un conocimiento detallado de las costumbres locales, para identificar las medidas específicas que puedan limitar la epidemia.

Las nociones de pico y duración de la epidemia pueden ser algo imprecisas:

– se aplican a una población restringida (una aldea o región pequeña), pero no a un país en el que las regiones generalmente se ven afectadas una tras otra;

– asumen que la fecha de aparición de la epidemia es conocida, lo que raramente ocurre.

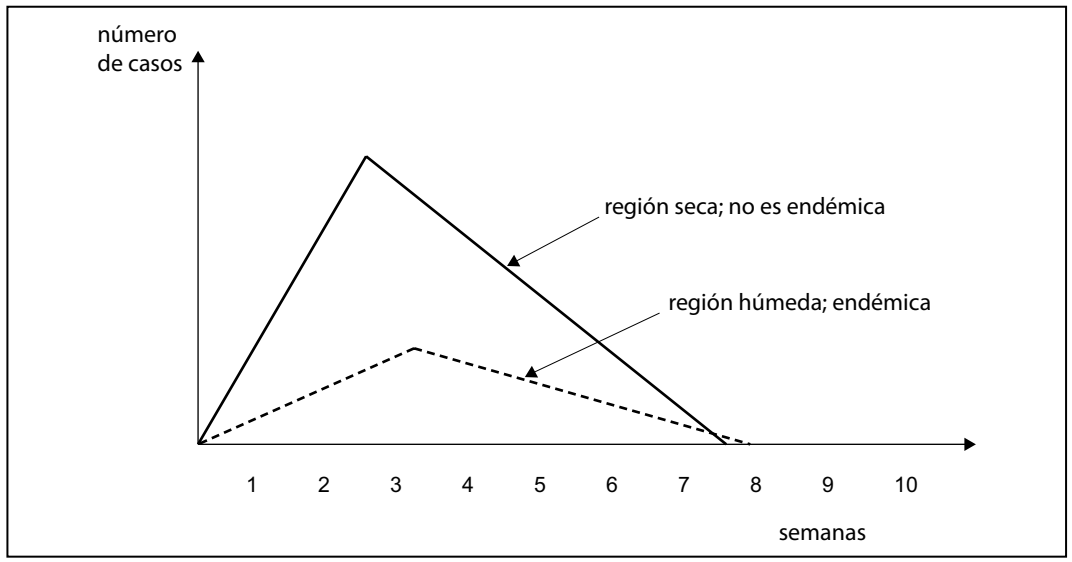


Figura 22.3: Curvas epidemiológicas típicas.

1.10 Factores epidemiológicos

Estos factores derivan directamente de la principal forma de contagio. Los factores que más agravan la situación son las condiciones sanitarias deficientes (agua y saneamiento) y una concentración humana elevada (asentamientos, mercados, estaciones, escuelas, etc.).

Los factores climáticos son secundarios y pueden tener diferentes efectos:

– En una región seca, la llegada de la estación de lluvias hace disminuir la concentración de la población cercana a los escasos puntos de agua y la transmisión de la infección parece reducirse porque el número de casos disminuye, aunque la relación entre estos factores no está clara.

– Por otra parte, en una región endémica húmeda las epidemias aparecen en la estación de lluvias (contagio desde los principales centros de infección).

2 EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN

Desde que se declararon los primeros casos sospechosos en países donde trabaja ACF, ha sido imposible desentenderse, aún cuando las autoridades locales parezcan capaces de afrontar una posible epidemia. Ello implica que deben investigarse y analizarse algunas informaciones clave (Tabla 22.I).

2.1 Confirmación de los casos declarados, implementación de un sistema de vigilancia

El diagnóstico clínico de los primeros casos debe confirmarse con el análisis de una muestra de la deposición para identificar el vibrión y determinar su sensibilidad a varios antibióticos.

Tabla 22.I: Evaluación de la situación.

Fuente	Información a investigar
Casos declarados	Lugar
	Número
	Confirmación por análisis de laboratorio
Estudios sanitarios	Número de personas y concentración en el área de riesgo
	Antecedentes de epidemias previas: personas desplazadas desde un área endémica, población local de un área no endémica, etc.
	Recursos hídricos: manantiales, cursos de agua, pozos…
	Vulnerabilidad de los puntos de agua a la contaminación fecal
	Equipamiento sanitario: letrinas, duchas, etc.
	Comportamiento de la población respecto a la higiene
	Lista de estructuras sanitarias, conocimiento de la enfermedad y de las infraestructuras sanitarias
Epidemia anterior	Origen, desarrollo, medios de contagio
Otras agencias Grupo focal colera	Información sobre el cólera

Los análisis biológicos se han de complementar con datos epidemiológicos obtenidos en las infraestructuras sanitarias y en las comunidades. Es, por tanto, esencial crear un sistema de vigilancia epidemiológica fiable tan pronto como sea posible para así tener un seguimiento del desarrollo del número de casos en función del tiempo y del área. Si fuera posible, este sistema de vigilancia debería asentarse en las estructuras sanitarias nacionales existentes. Los equipos móviles (desinfección, educación) pueden completar este sistema de vigilancia.

2.2 Epidemias anteriores

La información sobre epidemias anteriores puede ayudar a confirmar los resultados del estudio sanitario, especialmente en lo referente al origen de la epidemia (pozos, puertos, mercados, etc.) y las formas de propagación de la enfermedad.

2.3 Estudios sanitarios

Estos estudios identifican los focos principales de infección y suministran datos de referencia para llevar a cabo acciones sanitarias. Este trabajo, que debe realizarse tan pronto como sea posible, se va siguiendo y afinando a medida que progresa una intervención efectiva sobre el terreno.

2.4 Grupo de trabajo del cólera

La coordinación con otras organizaciones locales involucradas (en el mismo sector técnico o geográfico) facilita la asignación de tareas y agiliza la intervención. Un grupo de trabajo, llamado en ocasiones "Grupo de Trabajo de Cólera (Colera Task Force)", se compone de los actores normalmente involucrados, como: Ministerio de Sanidad, OMS, UNICEF, ACNUR, Cruz Roja/Media Luna Roja y demás ONG. Para ser eficaces, este grupo no debe ser muy numeroso.

Los subcomités técnicos (médico, agua y saneamiento, y comunicación sobre higiene) de 6 u 8 personas se reúnen de forma regular y las acciones sanitarias se coordinan dentro del comité de agua y saneamiento. Al principio es preciso evaluar la capacidad de actuación de los integrantes en estas reuniones, teniendo en cuenta:

– la experiencia en terreno;

– los programas en curso: lugar, naturaleza (agua y saneamiento, médica, educación, etc.);

– rapidez en la obtención de recursos financieros, humanos y logísticos, tales como existencias de sales rehidratantes, suministros médicos y equipo de suministro de agua y saneamiento.

Se ha de desarrollar un plan de acción (plan de contingencia). El grupo de trabajo guía la intervención recogiendo y analizando datos sobre la epidemia, planificando las actividades (apertura de centros de tratamiento, suministro de agua, actividades de promoción al saneamiento y a la higiene), armonizando la intervención de las distintas organizaciones y valorando el impacto de las actividades realizadas.

3 ESTRATEGIA DE INTERVENCION

3.1 Desarrollo de la Epidemia

Una vez se hayan recogido los datos epidemiológicos y se haya completado el estudio sanitario, se puede tener una idea de las áreas de riesgo (rutas de transporte, mercados, etc.) y de las formas de transmisión más importantes (agua, mercados, comida de restaurantes baratos, pescado, derivados lácteos, etc.).

3.1.1 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE ENFERMOS

La estimación del número de enfermos a hospitalizar se hace en base al número de aparición de casos, p.ej. el número más probable de enfermos sobre la población total. En ausencia de datos sobre epidemias anteriores en la zona, se supone que enferma el 1% de la población en entornos abiertos y el 2% en ambientes de riesgo (asentamientos y otros ambientes cerrados). En regiones secas, no endémicas, la incidencia puede ser mucho mayor (ver Sección 1.9).

3.1.2 EVALUACIÓN DE LA DURACIÓN DE UNA EPIDEMIA

La duración de una epidemia "clásica" es de tres meses, al menos en su fase aguda. Tras ello es necesario considerar la retirada de las ONG internacionales y el refuerzo de las estructuras locales para que continúen con las actividades.

3.2 Estrategia/acciones sanitarias

Las actividades a desarrollar tienen por objeto la reducción del contagio y se basan en dos enfoques: promoción de la higiene y desinfección. Uno no puede tener lugar sin el otro, ya que el cólera es, sobre todo, una enfermedad debida a la falta de higiene, causada por conocimientos y prácticas sanitarias precarias y/o falta de estructuras sanitarias. La estrategia de intervención debe evitar, o al menos limitar, las vías de contagio identificadas en el estudio. Los focos secundarios de infección son:

– en la comunidad: puntos de agua, casas y alrededores de personas enfermas, campos de defecación, lugares públicos (mercados, restaurantes, etc.);

– en el centro de tratamiento: el contacto con pacientes/personal/visitas.

Las actividades sanitarias (Tabla 22.II) se llevan a cabo en el centro de tratamiento del cólera, donde se debe hacer todo lo posible para garantizar un entorno saludable con barreras sanitarias efectivas y también en la comunidad, donde es esencial llevar a cabo acciones focalizadas en las áreas de riesgo: desinfección del agua potable y de las viviendas de la población enferma así como dar información por la radio local, por ejemplo.

4 TIPOS DE INTERVENCIÓN

4.1 Centro de tratamiento del cólera (CTC) de gran capacidad

Tabla 22.II: Actividades sanitarias.

	CTC	Comunidad
Objetivos	Personas con riesgo – enfermos – acompañantes – personal sanitario	Entorno de los enfermos – familia – vecinos Edificios públicos: – escuelas – mercado – mezquita/iglesia/templo
Agua potable	Suministro Almacenamiento, cloración y distribución	Análisis de la calidad y según el resultado: – desinfección puntual – cloración periódica (hasta dos veces al día) – mejoras/protección – cierre del punto de agua – suministro alternativo
Saneamiento y desinfección	Construcción de infraestructuras: letrinas, duchas, pediluvios Desinfección: deposiciones, vómitos, ropas, plantas de los pies y zapatos, puntos de agua Lavado de manos	Detección de casos y visita a las áreas clave: – familias y vecinos de los enfermos – escuelas, mercados, etc. Desinfección de las áreas de riesgo: – casas y letrinas de los vecinos de los pacientes – escuelas, mercados, restaurantes, etc.
Educación / información	Información general sobre el cólera y conocimiento de medidas higiénicas Explicación de las acciones tomadas en la comunidad	

Contexto

– Cuando ninguna estructura del gobierno puede o desea tratar enfermos a gran escala.

Ventajas

– Posible disociación de las intervenciones médicas y sanitarias (posibilidad de asignar tareas entre las diversas ONG).

– Centro altamente operativo, construido al efecto (estrictas barreras sanitarias, adecuada capacidad), con ayuda especializada de una ONG con experiencia en suministro de agua y saneamiento (aunque esto tenga que coordinarse con las actividades médicas).

– Posible control del reclutamiento, entrenamiento y gestión del personal (con la condición de ser capaz de pagar salarios o beneficios – a veces Alimentos por Trabajo).

– Seguimiento epidemiológico riguroso.

Desventajas

– Inversión elevada en recursos financieros y humanos durante 3 meses.

– El centro sólo se construye cuando se ha confirmado la epidemia: la construcción de un gran CTC como medida preparatoria solo se hace en situaciones muy concretas.

4.2 Unidad de Tratamiento del Cólera (UTC), de menor capacidad

Contexto

– Cuando el tamaño del área afectada no permite a la población enferma llegar a un gran CTC (grandes ciudades, la mayoría de las zonas rurales).

– Estos centros pequeños y descentralizados están asociados generalmente a estructuras sanitarias existentes, permiten una detección precoz de la diarrea debida al cólera y son fácilmente accesibles para la población. Si se excede su capacidad de tratamiento, los enfermos pueden ser transferidos a otras estructuras.

Ventajas

– Intervención global (médica y sanitaria) a cargo de una sola ONG.

– Bajos costes de preparación y operación.

– Estos centros pequeños pueden retener cierta capacidad de tratamiento, que alivia la presión de los grandes centros de tratamiento.

– Se reduce el número de casos graves en los ingresos gracias a la detección temprana y al tratamiento en un área bastante grande.

Desventajas

– Difícil traslado de los enfermos graves: la familia del enfermo puede estar en desacuerdo con la decisión (en gran medida, el acuerdo depende de la habilidad en las relaciones interpersonales de los empleados).

– Rápida sobrecarga del CTC si no se puede trasladar a enfermos.

4.3 Puntos de Rehidratación Oral (PRO)

Los PRO tienen dos objetivos: tratar pacientes con Suero de Rehidratación Oral y detectar pacientes en estado grave de deshidratación para derivarlos a un CTC/UTC. Reducen la carga en los CTC/CTU.

Pueden estar descentralizados al nivel de la comunidad. El trabajador/promotor de salud encargado del PRO tiene que recibir una formación rápida y suministro regular de material, para poder cumplir sus objetivos.

4.4 Vínculo con estructuras locales

Contexto

– Se pueden añadir pequeñas unidades para el tratamiento del cólera a las estructuras sanitarias locales (puestos de salud o dispensarios) que se mantienen con suministros (SRO, medicinas), capacitación y apoyo técnico (médico, agua y saneamiento).

Ventajas

– Rápida detección y tratamiento por la proximidad de los enfermos.

– Se requiere baja inversión para la mejora de las estructuras existentes.

– Capacitación regular, seguimiento y suministros asegurados por un equipo móvil que atiende varios centros.

Desventajas

– Las disponibilidades y competencias locales son variables.

– Necesidad de asegurar unos estándares mínimos, desde el punto de vista médico y sanitario, en estructuras mal preparadas para este fin.

– Movilización difícil del personal sin incentivos económicos (sueldo o alimentos por trabajo).

– Rápida saturación de la capacidad en áreas densamente pobladas (entornos urbanos).

– Baja cobertura geográfica.

– El aislamiento de los pacientes es más difícil.

4.5 Apoyo al Ministerio de Sanidad

Ventajas

– Suministros asegurados de forma rápida y efectiva (principalmente lactato de Ringer).

– Personal ya entrenado.

– Estructuras existentes.

Desventajas

– Control difícil del suministro de medicinas (posibles malversaciones).

– La recogida y gestión de los datos epidemiológicos puede no ser suficiente.

– Se necesitan instalaciones sanitarias adicionales (las existentes son difíciles de adaptar, especialmente en hospitales).

Condiciones apropiadas

– Las ONG suministran directamente a los centros de tratamiento, en vez de suministrar a una farmacia central.

– Suministros semanales contra la presentación de datos epidemiológicos.

– Capacitación sobre el uso de cloro en los centros.

– Implementación de protocolos sanitarios en los centros.

– Supervisión sanitaria conjunta entre la ONG y el Ministerio de Sanidad.

Dependiendo de la estrategia adoptada y del contexto (sólo acción sanitaria o acción conjunta médica y sanitaria), las acciones de emergencia se ejecutan tan pronto como se detectan los primeros casos, lo que permite una intervención a gran escala cuando se confirma la epidemia.

4.6 Acciones de emergencia

Se pueden pedir kits preparados para el tratamiento del cólera para los CTC, pero los equipos y suministros se deben comprar localmente si es posible (ver Sección 5.5.8). Cualquiera que sea la opción elegida, se deben adquirir inmediatamente 200 kg de HTH y 10 pulverizadores. El reclutamiento y capacitación de personal médico, sanitario y de promoción a la higiene también debe comenzar (ver Sección 5.8). Las visitas domiciliarias (educación para la higiene/desinfección y recogida de información) pueden empezar de forma inmediata (ver Sección 6).

5 CENTRO DE TRATAMIENTO DEL CÓLERA (CTC)

La concentración de pacientes en un centro asegura tanto el cuidado adecuado al enfermo como evitar contagios. Esto no quiere decir que el centro se limite a la administración de medicinas (SRO, lactato de Ringer) o al uso básico de desinfectantes (cloro, etc.). La rutina de un centro se organiza alrededor de un conjunto de acciones (desinfección de las manos, pies, deposiciones, etc.) que son simples, pero que no son habituales para los enfermos ni para los acompañantes que permanecen durante poco tiempo. Para que estas acciones sean asimiladas y puestas en práctica tan pronto como sea posible por parte de los recién llegados, es necesario hacer lo siguiente:

– dotar el centro de las herramientas específicas para hacer que estas acciones sean automáticas u obligatorias (barreras de aislamiento, pediluvios para la desinfección de los pies/zapatos, etc.);

– informar a las personas (con carteles, por medio del personal) de las razones de estas acciones y su naturaleza (cómo y por qué);

– vigilar estas acciones, haciéndolas obligatorias, ya que la población tenderá a evitar el cumplimiento de reglas.

La estructura y capacidad del centro dependen de la tasa de incidencia de la epidemia, que se estima de acuerdo con el contexto (Tabla 22.III y Cuadro 22.1).

Cuadro 22.1
Ejemplo de un CTC en el Norte de Mogadiscio, 1994

Estimación
población afectada = 500 000 en un entorno 'natural' (no grandes asentamientos)
número total de enfermos: At = 1% de la población = 5 000
número de ingresos diarios: Da = 2,6% de At = 130
capacidad del CTC: Cm = 4 x 130 = 520
consumo total de HTH = 2 000 kg

Realidad
At = 4 900 (el CTC trató 3 900 enfermos, de los que unos 1 000 fueron tratados en 6 estructuras pequeñas)
Da = 105
Cm = 350

Área del CTC
Cm = 350
– terreno 350 x 15 = 5 250 m²
– o edificio de 350 x 5 = 1 750 m² + 500 m² para instalaciones sanitarias.

Agua
70 x 350 = 24 500 litros/día

5.1 Planificación

Para intervenir tan pronto como sea posible y asegurarse de cubrir todas las necesidades, la apertura del CTC puede hacerse por etapas. Para una capacidad máxima estimada de 300 enfermos, se pueden habilitar tres estructuras separadas de 100 enfermos cada una. Generalmente el pico de la epidemia tiene lugar después de 3 ó 4 semanas, de modo que es necesario planificar la apertura de una fase por semana para no verse desbordados*.

Las ampliaciones deben construirse sin interferir con el trabajo del centro – sólo aquellos pacientes que se encuentren en fase SRO pueden trasladarse (ver Sección 5.3). Lo más corriente es que sean los trabajos de saneamiento los que retrasen la ampliación del centro: por ello, este tipo de trabajos pueden realizarse con antelación y ninguna ampliación debe abrirse sin que estén listas las instalaciones sanitarias. Por otra parte, las tiendas de campaña se montan a medida que se van necesitando (tener siempre una en reserva).

Es mejor construir algunas estructuras básicas de forma rápida, aunque haya que mejorarlas posteriormente. En cualquier caso, es necesario evitar la construcción de un pequeño paraíso (en términos relativos) del que no quieran salir los enfermos (especialmente si hay comida) y donde las familias de los enfermos hacen cola para ducharse.

* una instalación abarrotada, pensada originalmente para 100 plazas, puede funcionar por pocos días para 120-130 enfermos, pero rápidamente se vuelve imposible de gestionar con 150.

Tabla 22.III: Valores clave.
Estos valores son solamente estimaciones desarrolladas en base a la experiencia de ACF en terreno: pueden ayudar a establecer un presupuesto realista y a escoger un sitio lo suficientemente grande para un CTC.
El tiempo promedio de hospitalización se puede reducir a 3 días si se usa doxiciclina en dosis única y si los enfermos son hospitalizados en estado de deshidratación moderada (facilidad de transporte o alta concentración de población y buena cobertura de visitas domiciliarias). La hospitalización puede aumentar a 5 días si se trata con antibióticos durante 3 días, si el centro no tiene buena accesibilidad (distancia, inseguridad nocturna, etc.) y si recibe una proporción elevada de casos graves. Finalmente, una buena preparación (un plan de intervención), una coordinación eficiente y un suministro suficiente de agua potable reducen los tiempos de hospitalización.

Aspecto	Orden de magnitud
Número total de pacientes a tratar	At = 1% de la población total At = 2% en áreas de riesgo (campamentos)
Número de ingresos diarios	Da = 5% de At para At = 500 Da = 3% de At para At = 3 500 Da = 2,6% de At para At = 5 500
Capacidad del CTC	Cm = 4 x Da
Área del CTC	En un sitio despejado: 15 m²/enfermo En edificios: 3 a 5 m²/enfermo + 500 m² para instalaciones sanitarias La misma distribución entre fases SRO y IV
Consumo de HTH	diario: 1 kg/10 pacientes Total: HTH (kg) = 4 x At/10
Consumo de agua	60 a 80 l/paciente/día
Soluciones de cloro usadas en el centro (ver Sección 5.5)	solución A: 2% cloro solución B: 0,2% cloro solución C: 0,05% cloro

5.2 Elección del sitio

Área
– Relacionada con la capacidad máxima, Cm (ver Tabla 22.III).

Lugar
– De acceso fácil para todo el mundo, si es posible próximo al centro de lo que se considera el área de la epidemia, pero suficientemente alejado de los centros de población en situación de riesgo (escuelas, orfanatos, asentamientos, etc.).
– Aislado del exterior (muro perimetral, alambre espino, valla metálica, etc.).
– Acceso de camiones – esencial durante la construcción (materiales) y el funcionamiento (suministro de agua con camiones cisterna, etc.).

Edificio
No hay reglas fijas. Un sitio nuevo requiere un trabajo intensivo de construcción (plantar tiendas de campaña, refugios de plástico, etc.), y debe de ofrecer mayor libertad de diseño, aproximándose a lo ideal. Durante la estación de lluvias, se debe prestar atención especial al drenaje. Ésta es la opción que normalmente escogen las ONG para los centros grandes.

La instalación en un edificio ya existente, que generalmente se encuentra en malas condiciones, impone ciertas limitaciones a la construcción, pero permite un arranque rápido de las actividades. Generalmente es la opción elegida por las autoridades sanitarias y/o por las ONG para centros pequeños.

Suministro de agua
– Lo ideal es escoger un lugar con un punto de agua fiable (pozo, conexión con un sistema de distribución, etc.).
– En ausencia de puntos de agua, organizar la distribución con camiones cisterna.
– Verificar el caudal de los pozos o sondeos existentes para verificar si ofrecen un rendimiento suficiente.

– Instalar un depósito de agua elevado para distribuir agua por gravedad.

Saneamiento

– Instalar letrinas, fosa para la disposición de excrementos y duchas.
– Tener especial cuidado con el drenaje de aguas residuales.
– Verificar la contaminación de puntos de agua cercanos.
– Mantener una distancia mínima de 30 m entre las estructuras sanitarias y los puntos de extracción de agua subterránea (puede variar dependiendo de las condiciones hidrogeológicas).

Electricidad

– Es una ventaja, especialmente si se ha de usar una bomba eléctrica en el pozo. No es necesario disponer de un generador si la electricidad se usa solo para la iluminación (lámparas de aceite y linternas son suficientes).

5.3 Diseño de un CTC

Los principios para el diseño dependen de las restricciones médicas y sanitarias, que vienen dadas por las diferentes vías que los pacientes pueden tomar en el centro (Figura 22.4). Todas las áreas han de estar diferenciadas y aisladas unas de otras, y dispuestas de modo que se minimicen los desplazamientos de las personas dentro del centro. (Figura 22.5 y Tabla 22.IV).

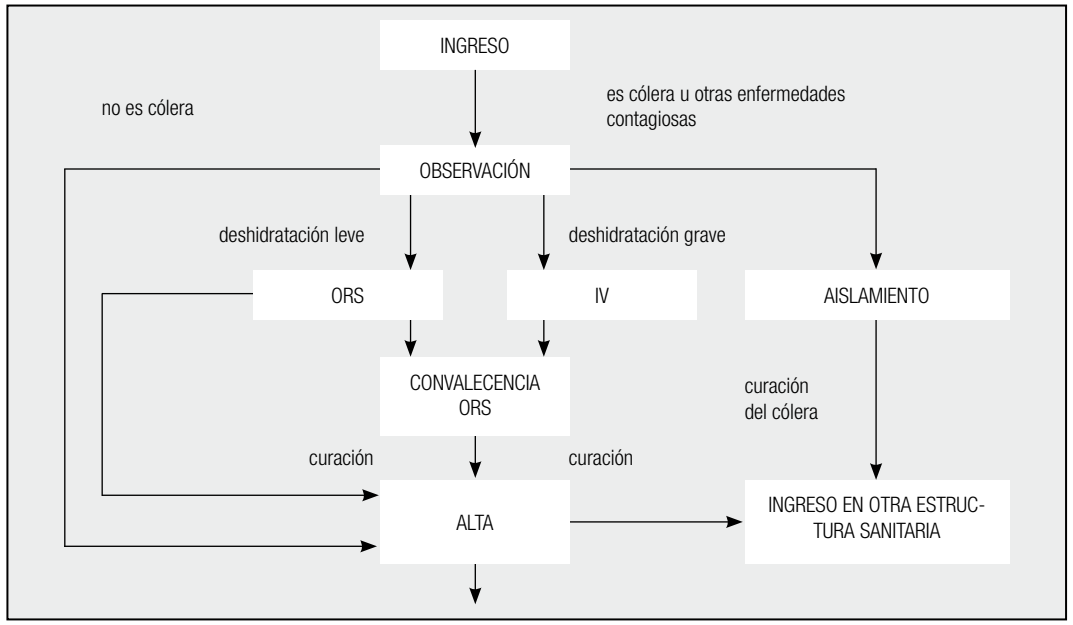


Figura 22.4: Recorrido de los enfermos dentro de un CTC.

Los enfermos llegan a admisión (registro) y, tras una posible estancia en observación, son:

– enviados a otra estructura sanitaria si no tienen cólera;
– tratados en la sección de aislamiento si tienen cólera u otra enfermedad contagiosa (tuberculosis, sarampión, hepatitis, etc.);
– tratados en un área de SRO y luego se les da de alta si no están seriamente deshidratados;
– tratados en el área IV si están fuertemente deshidratados (hay que prever separación para los niños y para las mujeres embarazadas), luego pasan a convalecencia/SRO y luego se les da de alta (o se envían al tanatorio).

La duración de la estancia en el centro suele ser de unos 3 días para enfermos que son admitidos directamente en el área SRO y de unos 5 días para los que se admiten en el área IV y luego se transfieren al área SRO.

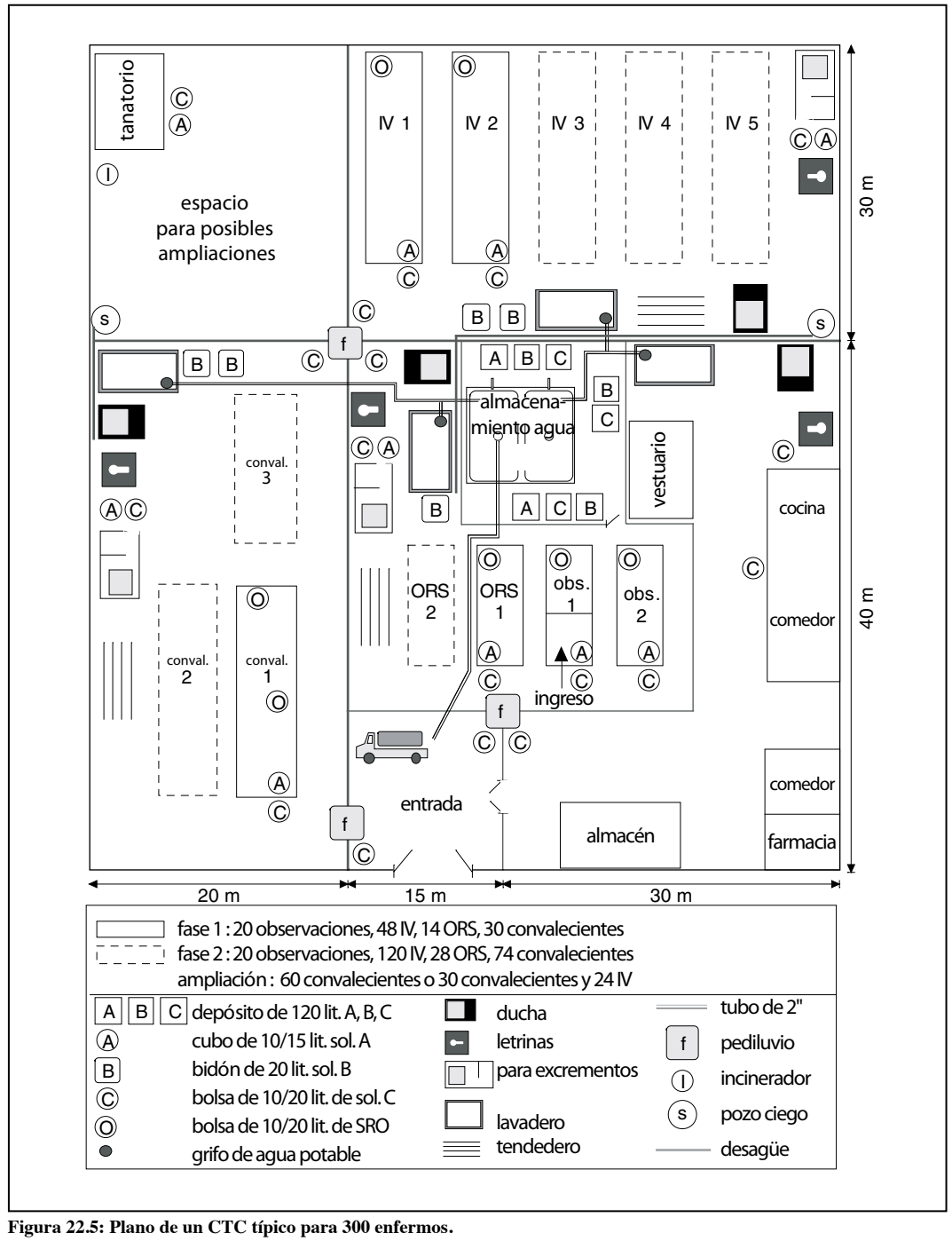


Figura 22.5: Plano de un CTC típico para 300 enfermos.

Tabla 22.IV: Zonas y equipo sanitario de un CTC.

Zona	Estructuras sanitarias
Admisión/Observación	
Entrada al centro: todos los enfermos nuevos son registrados y dirigidos al área correspondiente según su estado *(Observación, SRO o IV)* Planificar 1 ó 2 tiendas de campaña con capacidad para 10 – 12 personas cada una El área de observación para los casos dudosos se sitúa próxima a la admisión (en la misma tienda de campaña) Promedio de estancia – 1 día Cuando sea posible los enfermos son trasladados al área de tratamiento o son dados de alta	Pediluvio Punto de agua potable Puntos de solución de cloro Letrinas Fosa para excrementos Duchas Lavadero de ropa Cubos de basura Las camillas para trasladar enfermos que no tienen cólera y para otros traslados internos han de ser distintas en cada Tienda de campaña: punto SRO + bolsa de agua C para lavarse las manos + cubo A
Rehidratación SRO (parte del área de Admisión/Observación) Inicialmente, los enfermos con deshidratación moderada (grados A y B) se tratan en las estructura SRO del área de *Admisión/Observación*. Planificar 2 tiendas de campaña con capacidad para 10-12 personas.	
Rehidratación IV	
Enfermos con seria deshidratación (grados C o B con vómitos) (muy contagioso) Para facilitar el trabajo del personal y de la organización se montan progresivamente unidades con capacidad para 20-25 personas (tiendas, refugios, salas) Considerar 4-5 m^2 por paciente Los niños, que son generalmente los más vulnerables y más seriamente afectados, se sitúan en unidades pediátricas Tan pronto como sea posible la rehidratación *SRO* (tras 1 ó 2 días), se traslada el paciente al área de convalecencia/*SRO* El incinerador y el tanatorio se sitúan en el área IV (o en el área prevista para la ampliación)	Camas para pacientes de cólera Punto de agua potable En cada tienda: punto SRO + bolsa de agua para lavarse las manos C + cubo A Puntos para soluciones de cloro A y C, no accesibles al público Lavadero de ropa con un barril de solución B Letrinas Fosa para excrementos Duchas Pediluvios Cubos de basura
Aislamiento (parte del área de rehidratación IV) Una tienda pequeña y aislada en el área IV alberga los pacientes afectados por cólera y otras enfermedades contagiosas. Se reserva otra unidad para las mujeres embarazadas, para tratar los partos, cuidados postnatales y abortos (frecuentes con el cólera); se pueden colocar parabanes o cortinas para aislar visualmente a los pacientes.	
Convalecencia/SRO	
Pacientes en fase de recuperación Alfombrillas y láminas de plástico bajo tiendas grandes o refugios (30 pacientes): 3-4 m^2/paciente	Punto de agua potable En cada tienda: 2 puntos *SRO* + bolsa de agua C para Lavarse las manos + cubo A
Normalmente, el paciente puede ir a las letrinas: hay que planificar fosas de excrementos para los enfermos nuevos tratados con SRO	Puntos con soluciones de cloro A y C, no accesibles al público Lavadero de ropa con barril de solución B Letrinas
Generalmente los enfermos son dados de alta en 3 días y deben abandonar el centro (pero nunca antes de que acaben el tratamiento antibiótico)	Fosa para vertido de excrementos Duchas Pediluvios Cubos de basura
Tanatorio	
Los cuerpos se limpian con solución A, y luego se envuelven un sudario previamente pulverizado con la misma solución. El cuerpo envuelto se puede colocar dentro de una gran bolsa de plástico o de un envoltorio también de plástico para su transporte: este plástico contaminado ha de ser recuperado por el agente funerario. La mayoría de los cadáveres los recoge la familia, que se ocupa de su entierro. Para los cadáveres que nadie recoge, hay que planear un sitio para enterrarlos en las proximidades, o establecer acuerdos con la comunidad (ver las autoridades)	Cubo A + bolsa de agua C Camillas (mínimo de 3) Pulverizador de solución A Pulverizador de solución B
Área neutra (solo accesible al personal)	
Almacén para productos sanitarios, alimentos y productos para la rehidratación (lactato de Ringer (muy voluminoso) y SRO) El dispensario (prever stock para 2 días) es un área cerrada (de ser posible, se monta de forma permanente en un edificio, de lo contrario en una tienda) Si hay problemas con la seguridad, se reciben suministros diariamente desde un almacén externo	Punto de agua potable Punto para las soluciones B y C Duchas Letrinas Pediluvio
Oficina para el administrador, expatriados, supervisores, etc. Comedor para el personal (para comer, tomar té, etc.), que sirve también como sala de reunión. Vestuarios del personal (para cambiarse la ropa y desinfectar la ropa de trabajo) Hay varias posibilidades para la preparación de la comida: • la comida para los enfermos, acompañantes y el personal se prepara en una cocina – se procura evitar esta solución – limita las idas y venidas de los que transportan la comida – abre las puertas al abuso y es una solución cara (200 pacientes + acompañantes + personal = 500 comidas) – consume recursos y energía de la logística – no facilita la salida de los pacientes que se han recuperado • la comida para los pacientes y el personal se prepara en una cocina – buena organización – solución menos costosa que la anterior • no hay cocina – posible al principio – requiere las idas y venidas de las visitas y se han de reforzar los sistemas de control y desinfección a la entrada – no sale comida (se supone que está contaminada), ni hay desinfección de los platos – se puede adoptar esta modalidad si se requiere demasiada energía para establecer y gestionar la cocina, o si el almacenamiento de alimentos es peligroso	

5.4 Suministro de agua

Se necesitan entre 60 y 80 litros/paciente/día. El agua potable se debe clorar para obtener un nivel de 0,5 mg/l de cloro libre residual en el grifo. Esta cloración se realiza en el tanque. Además de ésta, se usan tres soluciones de cloro diferentes en el centro:

– solución A (2% cloro), usada para desinfectar las heces y vómitos de los pacientes, y los cadáveres. El período de almacenamiento es de una semana;

– solución B (0,2% cloro), usada para la desinfección de camas, camillas, ropas, cubiertos, las casas de los pacientes y vehículos (pulverización). El período de almacenamiento es de un día;

– solución C (0,05% cloro), usada para desinfectar la piel (principalmente las manos). El período de almacenamiento es de un día.

Es preferible que estas soluciones se preparen con HTH, que tiene una buena concentración de cloro y se conserva bien. De otro modo, y sólo como medida provisional, se puede usar otros productos que contengan cloro (ver Capítulo VI). Es necesario establecer un protocolo de cloración para que sea seguido por el personal.

5.4.1 ALMACENAMIENTO

La localización ideal de un tanque de agua (con capacidad para un día de consumo) es en un sitio elevado (montículo o terraplén) en medio del CTC: esto facilita la concentración de todas las estructuras sanitarias y simplifica el suministro de agua y soluciones cloradas y racionaliza el drenaje. No obstante, el tanque de agua puede situarse fuera del CTC, siempre que esté debidamente protegido con una valla.

5.4.2 DISTRIBUCIÓN

La distribución hasta los puntos de agua (cada uno con uno o dos grifos de cierre automático), es por gravedad y por medio de tuberías de 2" semi-flexibles y reforzadas (pérdida de carga baja). Si algunas partes del centro no pueden tener suministro directo por gravedad, se puede usar en su lugar tanques de plástico de 1 m^3, colocados en altura y rellenados periódicamente con una bomba.

5.5 Instalaciones sanitarias

5.5.1 PEDILUVIOS E INSTALACIONES DE LAVADO DE MANOS

Son obligatorias en los pasos de entrada y salida entre las diferentes áreas del CTC, tienen el fin de asegurar la desinfección de las suelas de los zapatos, de los pies (para pediluvios, solución B – Tabla 22.III) y de las manos (instalaciones para el lavado de manos, solución C). Proporcionan barreras sanitarias y controlan el movimiento de las personas. Hay un técnico en la pileta de lavado de pies que está siempre de servicio para:

– revisar la desinfección;

– asegurar que todo el mundo pasa por el pediluvio. La solución B puede decolorar e incluso deteriorar los zapatos y se pone fangosa y desagradable con bastante rapidez;

– informar y convencer a las personas que una molestia pequeña es mejor que un problema grande.

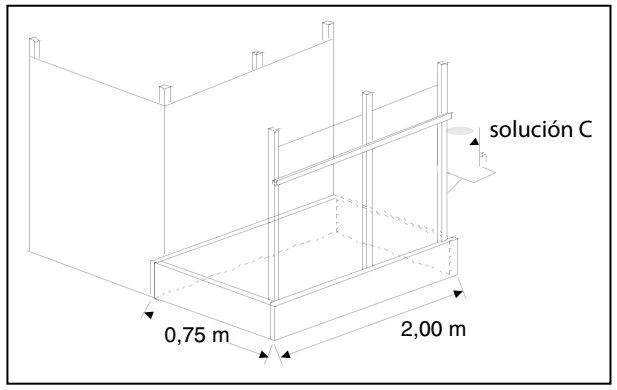


Figura 22.6:
Pediluvios e instalaciones de lavado de manos.
Materiales:
4 planchas metálicas (10 x 200 cm),
5,5 m de listones (20 x 2 cm) (+ 8 m si la base se hace de madera),
8 postes (4 x 200 cm),
Láminas de plástico 2,5 x 1,25 para cubrir la base.

La construcción ha de hacerse de modo que no sea posible evitar el lavado de los pies. El pediluvio ha de rellenase a un nivel máximo de dos cm de líquido. La solución debe renovarse cuando se vuelve demasiado fangosa: poniendo grava, al menos por el camino, se mejora la situación. Para vaciar el pediluvio se puede usar una fregona o construir al lado un pozo negro (de infiltración) de cemento.

En las puertas de los edificios se pueden utilizar pediluvios de plástico con un poco de solución en el fondo. Los sacos de yute impregnados con solución no se recomiendan porque se obstruyen rápidamente con barro y polvo y es difícil limpiarlos. El personal del centro debe estar equipado con botas para evitar la irritación causada por el contacto repetido con cloro.

Las instalaciones de lavado de manos se sitúan junto a los pediluvios, en la parte interior. Suelen constar generalmente de un recipiente de plástico de 10 a 20 litros (o, incluso mejor, una bolsa de agua), equipado con un grifo, lleno de solución C y colocado en un estante o taburete (Figura 22.6).

En ciertos contextos, el uso de pediluvios puede ser poco relevante: la cantidad de lodo que la gente lleva en los pies puede ser tan grande que utiliza todo el cloro libre de la solución, lo que lleva a cambiar la solución con mucha frecuencia (cada 10 personas, por ejemplo). En estos casos, se recomienda reemplazar los pediluvios por las siguientes acciones:

– Limpiar los zapatos de la gente entrando en el centro con agua normal.

– Luego desinfectar zapatos y parte baja de la ropa con pulverizador de solución clorada B.

5.5.2 FOSO PARA EL VERTIDO DE EXCREMENTOS

No se trata de una letrina estándar (ver Capítulo XIX), sino de una estructura para desinfectar las deposiciones y vómitos de los pacientes de las secciones IV, de observación y SRO.

En general, en un principio los pacientes no son capaces de controlarse o de ir hasta un retrete y, en el mejor de los casos, usan un cubo. Sus acompañantes deben entonces vaciar el contenido del cubo en un barril de plástico (50 – 100 litros) situado cerca de la fosa de disposición de excrementos (Figura 22.7). Después, el cubo se debe lavar al completo con 0,5 litros de solución A: esta solución desinfectante se vierte también en el barril. Vertiendo la solución en el barril se deja el cloro durante un tiempo suficiente (20 a 30 minutos) para que actue sobre la materia fecal, con esto sólo se verterán en la fosa residuos descontaminados. Los acompañantes se marchan tras lavarse las manos con solución C a la salida. Un empleado de guardia ha de explicar a todos los que llegan de nuevo como funciona la fosa y prestarles ayuda en caso que sea necesario.

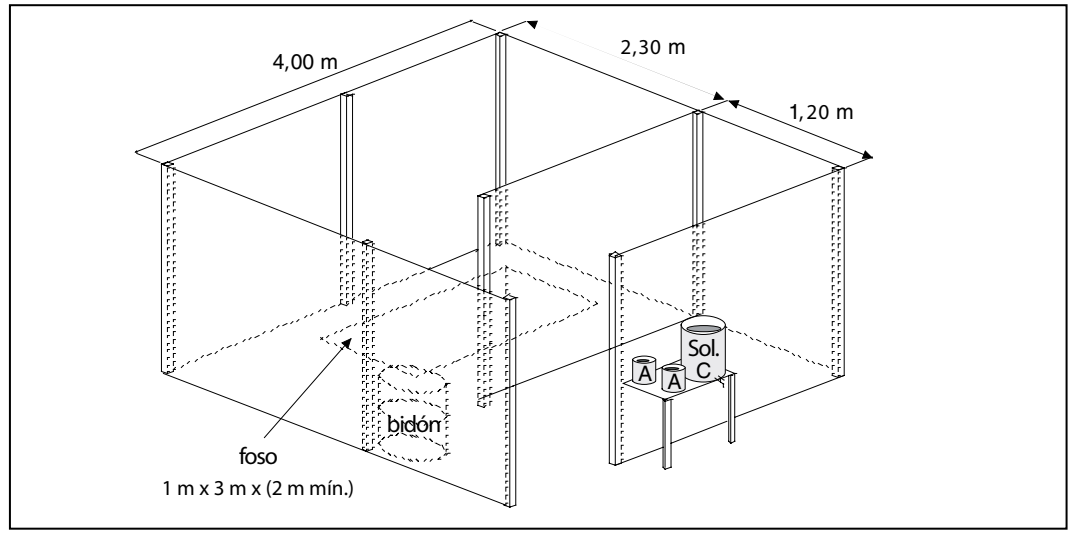


Figura 22.7: Ejemplo de fosa de disposición de excrementos.
Materiales (sin el techo): Postes, 27 m (8 x 8 cm), 36 m (4 x 8 cm). Láminas de plástico, 36 m^2.

5.5.3 LETRINAS

Las letrinas estándares, simples y temporales (ver Capítulo XIX) se reservan para los acompañantes, el personal y los pacientes en fase de convalecencia (rehidratación SRO). Hay solución C disponible en las letrinas para lavarse las manos y para la limpieza anal. Las letrinas se desinfectan regularmente (pulverizadas con solución B) y limpiadas con solución A.

5.5.4 DUCHAS

Una losa de cemento desaguando en un pozo ciego (ver Capítulo XIX) es más funcional que una simple capa de grava, por la facilidad de limpieza y desinfección con una pulverización de solución B.

5.5.5 INCINERADOR

Los residuos médicos (sobres SRO, envases de lactato de Ringer, agujas, etc.), se recogen y se queman en el incinerador. Los residuos de la combustión se vierten en una zanja estrecha y profunda.

5.5.6 PUNTOS SRO E INSTALACIONES PARA LAVADO DE MANOS

Consisten en recipientes de plástico dotados de un grifo que contienen varios tipos de soluciones. Los puntos SRO se sitúan dentro de las salas y contienen agua clorada donde se disuelven sales rehidratantes. Hay que tener disponible 10 – 20 litros de solución C para las instalaciones de lavado de manos fuera de los edificios.

5.5.7 LAVADEROS

Se dispone para este uso de un barril de 100 – 200 litros de solución B y algunos recipientes para sumergir la ropa. Es esencial que haya una losa de cemento con un canal pequeño que desagüe a un pozo ciego. Las zonas de tendido y secado de la ropa deben estar cubiertas durante la estación de lluvias. Finalmente, se sitúa un punto de lavado de manos a la salida, conteniendo de 10 a 20 litros de solución C.

5.5.8 INSTALACIÓN PARA LA PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

Siempre que sea posible, se reserva un punto concreto cerca del tanque de agua para este propósito. Estando situados céntricamente tanto el almacenamiento como el punto de preparación, la necesidad de transporte de agua y soluciones es mínima. Se usan barriles de plástico de 100 a 200 litros dotados de grifos y situados sobre unas mesas.

La solución B es accesible para el público en general (lavado de la ropa), mientras que los barriles conteniendo soluciones A y C solo se utilizan por personal que rellena recipientes menores. Una cantidad (diaria) de HTH se guarda en una caja bien ventilada, cerrada con llave y a la sombra, con un registro de las entradas y salidas.

5.5.9 EQUIPOS MENORES

Todo el equipo necesario (Tabla 22.V) debe tener las marcas precisas (lugar de uso y contenido, por ejemplo *IV2/solución A)* con tinta indeleble y ha de estar gestionado por la persona a cargo: el técnico sanitario que los usa.

5.5.10 DRENAJE

Un consumo elevado de agua implica que haya que evacuar grandes cantidades de aguas residuales. Es, por tanto, necesario planificar un drenaje general del centro. Si las duchas, puntos de agua y lavaderos se concentran en un lugar, es sencillo recoger el agua residual mediante un sistema de canales pequeños que la trasporten rápidamente y sin empantanarse, aunque la pendiente sea suave.

El tamaño del pozo ciego depende de la permeabilidad del suelo: si es baja, se deben planificar varios pozos ciegos; alternativamente, se pueden excavar zanjas de infiltración. Se requieren también pozos ciegos pequeños para las instalaciones de lavado de manos, pediluvios y aguas de lavado de las tiendas de campaña. Para no llenar los pozos ciegos con jabón y grasas es necesario instalar trampas de grasa simples. Una red de desagües alrededor de las tiendas de campaña retira el agua de lluvia y la lleva hacia una zanja en un punto bajo natural.

Tabla 22.V: Lista del equipo menor.

– 2 cubos por paciente en fase IV, 1 para las deposiciones y otro para los vómitos, reutilizables. Planear un margen en relación a la capacidad máxima de la sección IV (la mitad de la capacidad máxima del centro): número de cubos = 1,2 capacidad máxima del centro. Se aconseja utilizar cubos de distintos colores para las soluciones de cloro y para los vomitos, para evitar posibilidades de mezcla
– Cubos con tapa para la solución A (1 por unidad)
– Cubos para las duchas
– 1 cama por paciente de cólera en fase IV o de observación, o láminas sencillas individuales de plástico (0,70 x 2 m)
– Recipientes para el lavado de la ropa con una capacidad de 20 a 50 l
– Alfombrillas o láminas de plástico para pacientes en fase SRO (2 m^2): los pacientes curados tienen menos tentaciones de llevárselas con ellos
– Mesa (para artículos médicos) y taburete (personal, instalaciones de lavado de manos) en cada unidad IV y en cada área (SRO, Observación, Admisión, sala de personal, oficina)
– Barril de plástico de 10 a 20 l. o bolsa de agua, dotados de un grifo, para las instalaciones de lavado de manos C: 1 por cada 20-25 pacientes en fase IV, 1 por cada 40-50 pacientes en fase SRO, 1 por cada pediluvio, letrina y fosa de vertido de excrementos y 1 por cada cocina y comedor
– Barril de plástico de 10-20 l. o bolsa de agua, dotados de un grifo, para la distribución de SRO: 1 por cada 20-25 pacientes en las fases IV y Observación, 2 por cada 30 pacientes en las fases SRO y Convalecencia
– Barriles de plástico de 120 a 220 l. equipados con grifos para la preparación de soluciones A, B y C
– Si fuera necesario, un barril de plástico de 500 l. o un tanque de agua de 1 m^3 como reserva para las zonas periféricas.

5.6 Refugios

Los refugios pueden ser simplemente tiendas de campaña, o se pueden construir con láminas de plástico (las tiendas de campaña se guardan para ampliaciones futuras). Es esencial extender sobre el suelo un láminado grande de plástico, fácil de lavar y de desinfectar de forma periódica. Un canal central pequeño lleva el agua de lavado a un pozo ciego.

Los refugios deben pulverizarse con un insecticida duradero (p.ej. deltametrina) antes de ser utilizados. Durante la estación de lluvias debe haber caminos de grava, cubiertas sobre todas las instalaciones sanitarias y un buen drenaje de las aguas pluviales.

5.7 Barreras sanitarias

El objeto de estas barreras es evitar la contaminación desde dentro o desde fuera del centro.

Para evitar la contaminación desde el exterior:

– Es esencial aislar el centro con paredes, vallas o alambre espino dejando una única entrada/salida. Una segunda salida, con cerrojo, se usa únicamente para sacar los cadáveres de los pacientes que hayan fallecido.

– Esta limitación de movimiento significa que solo un familiar puede acompañar a cada paciente.

– Cada persona que abandone el centro debe lavarse las manos (solución C), desinfectar las suelas/pies en los pediluvios (solución B) y, si es preciso, desinfectar sus platos (solución B).

– Se debe desinfectar meticulosamente los vehículos y camillas que hayan transportado enfermos.

Dentro del centro:

– Desinfección de suelas/pies (pediluvio – solución B) y manos (solución C) a la entrada/salida de cada unidad (IV, SRO, Admisión, etc.).

– Desinfección de las deposiciones y vómitos de los pacientes, así como de los cubos usados para estos servicios (solución A).

– Desinfección de los cadáveres (solución A), y aislamiento en bolsas de plástico.

– Desinfección de las letrinas (pulverizando y lavando regularmente con solución B; en ocasiones con solución A).

– Desinfección de la ropa de los pacientes (solución B), quemarla si es posible en los casos más graves?

– Desinfección de los cubiertos (solución B) y lavado posterior con agua.

5.8 Gestión

5.8.1 ORGANIGRAMA

El organigrama se muestra en la Figura 22.8.

Jefe de proyecto (expat.)			
– Coordinación interna: saneamiento, salud, logística y administración – Relaciones con el Grupo de Trabajo, ONG, autoridades – Recogida y análisis de estadísticas – Seguridad			
Responsable médico (expat.)	Responsable sanitario (expat.)	Responsable logístico (expat.)	Administrador
– Seguimiento epidemiológico – Apoyo ocasional a enfermeros – Formación en salud elaboración de protocolos médicos – Seguimiento del consumo de suministros	– Supervisión general – Formación del personal – Elaboración de protocolos sanitarios	– Responsable de la construcción del CTC – Crear la logística médica – Supervisión de los equipos de construcción	– Gestión del personal – Reclutamiento, presencia – Pagos, resolución de conflictos
	+ suministros generales y mantenimiento cuando termina el logista	Este puesto termina cuando acaba la construcción y empiezan los trabajos de saneamiento	Gestiona el CTC en ausencia del jefe de proyecto
Enfermeros (expat.)			
Supervisores médicos	Supervisores sanitarios	Jefe de obra	
	Equipo sanitario		
Equipo médico – Asistentes médicos – Farmacéuticos – Encargados de registros/ inventarios – Enfermeros – Auxiliares de enfermería	– Técnicos sanitarios: *tiendas *pediluvios *equipos – Preparador – Vaporizador – Operador de tanatorio – Operador de lavandería – Encargado de manteniemiento – Operador de limpieza	Equipo de construcción – Albañil – Carpintero – Cerrajero – Fontanero – Peones	Grupo de personal – Médico, sanitario – Construcción – Almacén – Cocinero – Asistente de cocina – Guardia de seguridad – Operador de limpieza

Figura 22.8: Organigrama para un CTC.

5.8.1.1 PERSONAL EXPATRIADO O PERSONAL DE DIRECCIÓN

Los expatriados y el personal de dirección juegan un papel fundamental en la contratación, capacitación, organización y supervisión del personal local. Su presencia y su número son decisivos cuando empieza el funcionamiento de un centro, disminuyendo rápidamente en el caso del personal de logística y más despacio en el caso del personal médico, dependiendo del desarrollo de la epidemia. Para poner en funcionamiento un centro de gran capacidad, son esenciales cinco directivos:

– 1 a cargo del edificio y de la logística de los suministros,

– 1 a cargo de los aspectos sanitarios,

– 3 profesionales sanitarios (uno debe de ser médico).

En algunos casos, en acciones de gran envergadura se puede requerir un director de proyecto para la coordinación.

Todos los papeles deben estar perfectamente definidos. En particular, uno de los integrantes del equipo, por ejemplo un logista o un médico, debe hacerse cargo de las reuniones diarias, del trabajo con el administrador y de las relaciones externas. A medida que pasa el tiempo, el equipo se reducirá hasta una o dos personas (logista y médico).

5.8.1.2 PERSONAL LOCAL

Todos los que trabajan en el centro deben tener una descripción del puesto de trabajo indicando sus tareas, equipo personal, lista del equipo del que son responsables, horario de trabajo, remuneración (dinero o comida por trabajo) o salario y una referencia a las regulaciones internas. Este documento se firma por ambas partes y puede transformarse fácilmente en un contrato de trabajo si la legislación lo permite.

El funcionamiento continuo y exitoso del centro, que garantiza una baja mortalidad y el control de la epidemia, depende siempre del personal médico y sanitario. Este personal tiene la difícil tarea de cuidar a los pacientes y a sus acompañantes, informándoles y animándoles a realizar tareas esenciales (lavarse las manos, uso de las letrinas, etc.). Además, esto se debe realizar constantemente, a causa de la rotación continua de pacientes y acompañantes.

Desde el principio del proyecto es necesario contratar un administrador local y competente que tome parte en la contratación de personal, establezca la lista de personal, realice la gestión diaria del mismo y les pague. Esta persona resuelve también los conflictos y gestiona todo el centro cuando se ausenta el director expatriado. Finalmente, es necesario planificar diariamente los horarios para las siguientes 24 horas.

5.8.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PUESTOS DE TRABAJO SANITARIOS

5.8.2.1 SUPERVISOR SANITARIO

Una persona:

– supervisa el trabajo de todo el personal sanitario;

– gestiona el suministro de agua;

– se remite al jefe de sanitarios expatriado, quien toma las decisiones necesarias para mejorar el trabajo, en colaboración con el supervisor sanitario;

– retira HTH del almacén y registra su consumo en el archivo;

– sustituye temporalmente a cualquier persona del equipo que esté ausente (especialmente la persona que prepara las soluciones).

5.8.2.2 PREPARADOR DE LAS SOLUCIONES

Una persona:

– prepara las soluciones A, B, y C para las distintas unidades;

– gestiona el suministro de agua (suministro, tratamiento);

– recepciona el HTH del supervisor y mantiene un registro de las entradas y de la producción de soluciones.

Por encima de un cierto volumen de actividad, el preparador puede ayudarse de un asistente, capaz de sustituirlo si fuera necesario; este asistente asegura el suministro de soluciones B y C a los pediluvios.

5.8.2.3 TÉCNICO DE LAS INSTALACIONES SANITARIAS

Una persona por cada conjunto de instalaciones:

– a cargo de las letrinas, las fosas para vertido de excrementos, duchas y lavaderos;

– a cargo específicamente de la desinfección de las deposiciones y vómitos en las fosas para vertido de excrementos, explica los procedimientos a pacientes y visitas, o los lleva a cabo personalmente si es necesario;

– mantiene llenos los recipientes con solución A (0,5 l) y las instalaciones para lavado de manos con solución C a la entrada de las letrinas y de los fosos de vertido de excrementos;

– vacía periódicamente el barril de material desinfectado en el foso de vertido de excrementos.

– asegura el uso correcto de las duchas, letrinas y lavaderos;

– supervisa el trabajo del técnico pulverizador y del limpiador.

5.8.2.4 TÉCNICO SANITARIO DE LA TIENDA DE CAMPAÑA

Una persona por cada 20 ó 25 pacientes en fase IV y de Observación.

Una persona por cada 30 ó 50 pacientes en las fases SRO y de Convalecencia. Este técnico, que es el primer contacto de los acompañantes y de los pacientes, tiene un papel esencial de:

– informar a los pacientes y a los acompañantes sobre las formas de contagio del cólera;

– explica las medidas requeridas para evitar el contagio: desinfección de las deposiciones, vómitos, manos, suelas, ropa, platos, etc., con cloro;

– también explica cómo se usan las diferentes instalaciones (foso de disposición de excrementos, pediluvios, etc.);

– suministra uno o dos cubos por paciente, explicando cómo se usan y se asegura de que se usan correctamente;

– rellena los barriles pequeños con soluciones A y C a partir de los barriles de almacenamiento;

– puede tener que preparar SRO (sustituyendo la enfermera del área SRO);

– siguiendo consejo médico, traslada pacientes al área de convalecencia con la ayuda de empleados de mantenimiento;

– supervisa al técnico pulverizador y al limpiador.

5.8.2.5 LIMPIADOR DE LA TIENDA DE CAMPAÑA

Una persona por cada 25 pacientes en fases IV y de Observación, uno por cada 50 pacientes en fases SRO y de convalecencia:

– mantiene limpia la unidad (basura – cubo de basura);

– desinfecta (con solución A) cualquier lugar que se haya ensuciado (cama, suelo, alfombrilla, etc.);

– está a disposición del técnico sanitario y de las enfermeras para prestarles ayuda cuando lo necesiten.

5.8.2.6 PULVERIZADOR

Una persona por cada 50 pacientes en el área IV y otro para el área de Convalecencia.

Una persona para el área de Observación/SRO (una más en el área de Admisión cuando el número de admisiones supera las 30 ó 40):

– usa la solución B;

– pulveriza las tiendas por dentro y por fuera, y especialmente los lugares sucios;

– desinfecta camas y esterillas (especialmente tras dar el alta o en el traslado de los pacientes);

– desinfecta regularmente las letrinas y las duchas.

Tabla 22.VI: Resumen del personal sanitario para un CTC con una capacidad máxima de 300 personas. Con un centro funcionando las 24 horas del día, tres equipos de la misma composición se van turnando cada 8 horas (o mejor, cada 7 + 7 + 11 h 30, si contamos los solapes, teniendo en cuenta que la actividad disminuye durante la noche). Cada semana se cambian los turnos para equilibrar el número de horas de trabajo.
En un centro con 300 pacientes, hay por tanto 67 técnicos sanitarios al comenzar el funcionamiento del centro, y 118 en el pico de la epidemia.

Puesto de trabajo	Número o relación	Número al inicio	Número a capacidad máx.
Turno de 24 h/24			
– Supervisor sanitario	1	1	1
– Preparación de soluciones	1 + 1 Asistente	1	1 + 1
IV			
– Técnico de la instalación sanitaria	1 por instalación	1	2
– Técnico sanitario de la tienda	1 cada 20 – 25 pac.	2	6
– Técnico sanitario de pediluvios	1	1	1
– Limpiador de la tienda	1 cada 0 – 25 pac.	2	6
– Pulverizador	1 por cada unidad de 50 pacientes	1	3
Convalecencia			
– Técnico del equipo sanitario	1 por cada instalación	1	1
– Técnico sanitario de la tienda	1 cada 50 pacientes	1	3
– Técnico sanitario de pediluvios	1	1	1
– Limpiador de las tiendas	1 cada 50 pacientes	1	3
– Pulverizador	1	1	2
Admisión/Observación/SRO			
– Técnico del equipo sanitario	1	1	1
– Técnico sanitario de la tienda	1 cada 25 pacientes	1	2
– Técnico sanitario de pediluvios	1	1	1
– Limpiador de las tiendas	1 cada 50 pacientes	1	1
– Pulverizador	1	1	1
– *Entrada*			
Pulverizador	1	1	1
TOTAL		20 x 3 = 60	37 x 3 = 111
Turno solamente de día			
– Técnico sanitario/pulverizador – Área neutral	1	1	1
– Empleado de mantenimiento	2	2	2
– Empleado del tanatorio	2	2	2
– Empleado de lavandería	2	2	2
TOTAL GENERAL		67	118

5.8.2.7 PULVERIZADOR DE LA ENTRADA

Una persona en la entrada principal (solución B):

– pulveriza las suelas/pies, platos y objetos que las personas que salen puedan llevar consigo;

– pulveriza vehículos, camillas, ropa y cualquier otro objeto en contacto con los nuevos pacientes durante su traslado al centro.

5.8.2.8 TÉCNICO/PULVERIZADOR SANITARIO DEL ÁREA NEUTRAL.

Una persona que trabaja sólo de día:

– responsable de todo el equipo sanitario de este área;

– desinfecta las ropas dejadas en los vestuarios.

5.8.2.9 TÉCNICO SANITARIO DE LOS PEDILUVIOS

Una persona para cada pediluvio:

– responsable del pediluvio (disponibilidad de soluciones);

– controla la entrada de visitantes;

– se asegura de que las personas que salen se desinfecten las manos (solución C) y pies (solución B).

5.8.2.10 EMPLEADO DE MANTENIMIENTO

Dos personas que trabajan sólo de día:

– recogen todos los desperdicios de los cubos de basura y los queman;

– han de estar disponibles para llevar a cabo pequeños trabajos (cargar con las camillas, mantenimiento, etc.).

5.8.2.11 EMPLEADO DEL TANATORIO

Dos personas (un hombre y una mujer), que trabajan sólo durante el día:

– transportan los cadáveres al tanatorio, taponan todos los orificios (algodón impregnado con solución A), limpian los cuerpos con solución A, los envuelven en sudarios y luego en bolsas o láminas de plástico;

– si los familiares desean limpiar el cadáver, explican la necesidad del procedimiento y lo supervisan;

– se aseguran de que los familiares se desinfectan ellos mismos tras tocar el cuerpo;

– animan a los familiares a enterrar el cadáver cuanto antes;

– vigilan el funeral.

5.8.2.12 EMPLEADOS DE LAVANDERÍA

Dos personas trabajando en el área IV sólo durante el día:

– desinfectan (10 min a remojo en solución B);

– y después lavan las ropas y las sábanas del centro.

5.8.3 CONTRATACIÓN Y FORMACIÓN

Tan pronto como el personal médico y el jefe de logística hayan determinado la distribución y el equipamiento del centro, la tarea principal del director sanitario es la de contratar y capacitar al personal. Puede llevar de 8 a 15 días desde que se anuncian los puestos de trabajo hasta que se contratan 75 técnicos sanitarios listos para trabajar. Este es también el tiempo necesario para contratar y entrenar al equipo médico.

5.8.3.1 PERFILES DEL PERSONAL

En primer lugar, tendrán preferencia las personas con alguna experiencia en salud pública, maestros que no se asusten de "ensuciarse las manos" y personas cuyas informaciones y consejos sean bien recibidos por los interesados.

Otros criterios varían según el puesto:

– supervisor: buenos conocimientos de suministro de agua y saneamiento, líder del equipo, experencia, se expresa con claridad, buen conocimiento de una lengua internacional;

– preparador de soluciones: buen entendimiento de la información sanitaria, habilidad para hacer cálculos, sentido de la responsabilidad, conocimiento de una lengua internacional;

– técnico sanitario de las tiendas: conocimiento de la formación en cuestiones sanitarias o facilidad para explicarlas, conocimiento de alguna lengua internacional si es posible;

– técnico de las instalaciones sanitarias: conocimiento de la información sanitaria, autoridad, habilidades para capacitar/explicar, lengua internacional si es posible;

– técnico sanitario de pediluvios: autoridad, conocimiento de cuestiones sanitarias;

– empleado del tanatorio: conocimiento de cuestiones sanitarias, habilidades para capacitar/explicar;

– pulverizador: experiencia previa, habilidades técnicas;

– limpiador, empleado de lavandería, empleado de mantenimiento: habilidad para trabajar en cualquier contexto.

5.8.3.2 FORMACIÓN

La formación requiere sesiones teóricas, técnicas y prácticas.

La formación teórica (medio día por grupo) imparte conocimientos del cólera y de las formas de contagio y desinfección. Se pretende motivar al personal para que lleven a cabo acciones que de normal considerarían extrañas. Un supervisor previamente capacitado puede simplificar esta formación para el grupo de limpiadores/pulverizadores.

La capacitación técnica y práctica (medio día por grupo) empieza con un recordatorio de la teoría, a la que le sigue una presentación del plano del centro y de sus funciones médicas y sanitarias. Se organiza una visita al centro, al mismo tiempo que se van explicando los diferentes puestos de trabajo. Esta fase de formación finaliza con la presentación del reglamento de régimen interior.

Al final de esta formación general, se establecen los puestos designados y se informa a los candidatos. Se escogen los tres turnos (mañana/tarde/noche) y sus respectivos supervisores. A partir de este momento, el trabajo se realiza por turnos, bajo la responsabilidad de los supervisores. Estos supervisores no se designan siempre de forma inmediata, sino que se escogen al cabo de algunos días de trabajo, excepto cuando la capacitación ha sido de larga duración y lo suficientemente completa como para identificar los líderes. Se debe redactar una descripción detallada de cada puesto:

– haciendo a cada persona responsable de los materiales y del equipo usados durante su turno;

– identificando al supervisor como la persona responsable del equipo sanitario;

– dejando claro que las designaciones no son permanentes y pueden cambiar con el tiempo.

En casos de urgencia, cuando un centro deba abrirse de forma inmediata (aunque no se haya completado la instalación), se contrata rápidamente un equipo reducido y se le capacita sobre la marcha, usando la descripción de los puestos como guía para la formación. En estos casos, la capacitación práctica ha de completarse con una supervisión exhaustiva. La formación teórica se hará posteriormente.

5.8.4 INFORMACIÓN

Dentro del centro, se colocan carteles frente a cada punto sanitario para facilitar la comprensión rápida de las prácticas higiénicas y evitar el uso indebido de las soluciones. Los carteles deben describir, con dibujos simples y sin ambigüedad, lo que se debe hacer: beber, lavarse las manos, lavar la vajilla, etc. Un artista local puede hacer los dibujos que transmitan el mensaje propuesto.

Hacia el exterior, se envían mensajes a la población por cualquier medio (radio, televisión, prensa, convenciones religiosas, etc.) que trasmitan las medidas higiénicas preventivas y que es lo que hay que hacer para combatir la enfermedad. Se recomienda complementar estos mensajes con alguna información sobre los centros de tratamiento, insistiendo especialmente en las razones para, y la importancia de, medidas como la limitación del número de acompañantes, desinfección sistemática a la salida, etc. Estas medidas restrictivas suelen aceptarse mejor si provienen de autoridades locales o religiosas.

5.9 Otras estructuras y contextos

En otros casos (el uso de un edificio, o centros de poca capacidad), los principios son los mismos que se han mencionado, con excepciones aplicables a cada caso en particular.

5.9.1 EDIFICIO

Si la capacidad de un edificio no es suficiente, el espacio interior se adjudica prioritariamente al dispensario y a los pacientes en fase IV.

Aunque un suelo de baldosas facilite la desinfección periódica del edificio, es necesario sin embargo disponer de algunos recipientes (barreños) para recoger aguas residuales.

Se han de construir instalaciones sanitarias específicas (retretes, fosos para disposición de excrementos y duchas) para el tratamiento del cólera.

5.9.2 CENTROS DE POCA CAPACIDAD (CTU, ORP)

Un centro de poca capacidad se dispone generalmente en un edificio ya construido. Las instalaciones sanitarias se simplifican, manteniendo:

– uno o varios recipientes de plástico de 250 litros para almacenar agua;
– algunos recipientes de 20 litros para preparar y almacenar soluciones de cloro;
– pediluvios de plástico.

Además, se necesita menos personal con menor especialización en sus funciones:

El supervisor prepara soluciones, el técnico sanitario pulveriza, etc.

Si no hay sitio disponible para las instalaciones sanitarias, se pueden usar los inodoros del edificio, reservando uno para los pacientes en fase IV. El proceso de desinfección se lleva a cabo en un barril pequeño, que se vacía periódicamente en el inodoro. Este inodoro nunca y bajo ninguna circunstancia debe ser usado directamente por los pacientes, especialmente si está conectado a un sistema de alcantarillado. Hacer esto no es especialmente aconsejable, pero puede ser inevitable si se usa un CTC u otra estructura sanitaria que ya existe previamente.

Los pacientes en fases IV y SRO deben mantenerse aislados lo máximo que sea posible.

6 ACCIONES EN LA COMUNIDAD

6.1 Promoción de higiene, sensibilización y búsqueda activa de nuevos casos

En las aldeas, la información sobre el cólera y las medidas higiénicas dirigidas a la totalidad de la población son transmitidas a veces por organizaciones internacionales como la OMS y UNICEF, o por el Ministerio de Sanidad, que usan tanto los canales de comunicación tradicionales como los modernos, especialmente los medios de comunicación de masas.

Las ONG locales e internacionales, posiblemente con ayuda, constituyen excelentes puntos de transmisión de la información en vecindarios urbanos y en aldeas, con el objetivo de diseminar la información y aconsejar sobre el cólera.

En un entorno rural, y en ausencia de ONG colaboradoras, las ONG internacionales que intervengan han de desarrollar mensajes sobre la higiene y transmitirlos por medio de las autoridades civiles y/o religiosas.

Sesiones comunitarias de promoción de higiene pueden organizarse también en barrios de riesgo, en época de prevención o de epidemia. Los mensajes a difundir son los típicos mensajes de promoción de higiene, acompañados por información específica sobre cólera. A continuación se propone una lista mínima de mensajes:

– Acudir al centro de salud tan rápido como sea posible en caso de diarrea aguda. Empezar beber SRO en casa y durante el viaje hasta el centro de salud.
– Lavarse las manos con jabón antes de cocinar, antes de comer y después de utilizar los baños
– Beber solo agua segura (clorada o hervida).
– Cocer bien y sistemáticamente la comida.
– Evitar comer frutas o verduras crudas, especialmente las que se venden en la calle.
– Usar letrinas.

En época de epidemia, además de la promoción de higiene, tiene que organizarse una búsqueda activa de nuevos casos dentro de los vecindarios para asegurar una detección temprana de casos nuevos.

Las sesiones de sensibilización y las operaciones de búsqueda activa pueden ser puestas en marcha por empleados de ONG, voluntarios de la Cruz Roja, promotores del ministerio de salud o trabajadores de salud comunitarios. También pueden hacerse por miembros de las brigadas de desinfección (ver parágrafo siguiente) en las zonas a riesgo.

6.2 Equipos de desinfección

La formación y puesta en marcha de brigadas de desinfección que intervengan en las casas y los barrios de los enfermos que acuden a los centros de tratamiento demostró ser una estrategia muy pertinente en los últimos años para luchar contra una epidemia de cólera.

Equipos compuestos de 5 personas (un responsable del equipo que se encarga de las sesiones de sensibilización, una persona para llenar los cuestionarios para la base de datos, una persona que moviliza los vecinos y ayuda en la inspección, un/a fumigador/a y posiblemente un chófer) se dedican a las siguientes operaciones:

– Pulverizar la casa de los enfermos (suelos, camas, cocina, letrina etc.).
– Desinfectar los posibles focos de infección alrededor de la casa.
– Llevar a cabo una sesión de sensibilización con los vecinos.
– Detectar casos sospechosos en el vecindario.
– Posiblemente distribuir kits de higiene y de desinfección domiciliar del agua.

Los pulverizadores usan dos tipos de soluciones: solución B para la ropa, vajilla, camas y casas, y la solución A para las letrinas y campos de defecación. La desinfección por medio de la pulverización debe ser llevada a cabo durante tres días sucesivos. Esto no siempre es posible sobre la totalidad de la zona, por ello es preciso priorizar las áreas de riesgo y, en estas áreas, se deben identificar los focos de infección estudiando el origen de los casos.

Las brigadas están adscritas a un CTC, con quien comparten información y desde donde seleccionan los sitios a tratar (6 a 8 sitios/equipo/día). Según la densidad de población, estos equipos se desplazan a pie en el caso de centros en áreas pequeñas, motorizados en el caso de centros en áreas rurales o una mezcla de ambos, normalmente en áreas urbanas.

Consejos para mejorar el trabajo de las brigadas:

– La recolección de los datos de los pacientes en el CTC tiene que ser sistemática y muy clara.
– Las brigadas tienen que salir a primera hora del día, antes que los habitantes salgan de sus casas para ir a trabajar o a la escuela.
– Los miembros de los equipos, especialmente el responsable del equipo/promotor de higiene) tienen que ser experimentados y preparados. Tienen que estar formados durante la época de prevención.
– Es muy útil que los datos de los pacientes y de las desinfecciones sean recopilados en una base de datos que alimenta un Sistema de Información Geográfica (informatizado o no), para poder seguir y prevenir la aparición de nuevos casos.

6.3 Lugares públicos: desinfección y sensibilización

Los lugares públicos (especialmente los mercados, las estaciones de tren o de bus, las letrinas públicas), son focos importantes de propagación de la epidemia, especialmente si presentan condiciones higiénicas deficientes.

Es importante llevar a cabo las acciones que siguen:

– Limitar la actividad de estos lugares al mínimo (cierre temprano de los mercados, por ejemplo).

– Refuerzo de los equipos de limpieza existentes (los mercados suelen tener uno): mejora del material, aumento de personal, formación.

– Refuerzo del sistema existente de recogida de basuras (aumento del número de basureros y de la frecuencia de su recogida).

– Instalación de puntos de agua potable clorada mediante cloración directa de recipientes o abastecimiento de agua clorada por cisternas.

– Instalación de puntos de sensibilización a la entrada del lugar, incluyendo un punto de lavado de manos y pulverización de los zapatos. Según proceda, también se puede considerar la pulverización del material entrante (ruedas de carros, caretillas…).

– Acordar con una brigada de bomberos la limpieza con chorros de agua de edificios/suelos antes de la desinfección.

– Desinfección de los lugares públicos por medio de la pulverización de los puestos de venta (mercado), o de los edificios, con solución A de cloro y la aplicación de cal viva al suelo.

– Estas acciones pueden combinarse con la distribución de producto liberador de cloro tipo lejía en bolsitas, a través de ONG locales, asociaciones de comerciantes o UNICEF.

Las letrinas públicas tienen que vaciarse y sus contenidos se han de verter adecuadamente. Se tiene que echar cal viva a la fosa, y desinfectar la letrina entera con solución de cloro A.

6.4 Mejora en la Calidad del Agua

Se deben planificar las siguientes acciones, ordenadas por prioridad:

– Usar el suministro existente (pozos excavados, red de distribución, pozos perforados, etc.) si se puede garantizar la calidad del agua con acciones efectivas como la desinfección.

– Proporcionar un suministro alternativo, generalmente con camiones cisterna a puntos de distribución y/o mini-sistemas de suministro desde un pozo perforado o una mini-estación de tratamiento.

– Mejorar la calidad del agua potable distribuyendo cloro a las casas y a los puntos de desinfección de jerrycans creados para luchar contra la epidemia.

A continuación se relacionan algunas acciones estándar.

6.4.1 CLORACIÓN DE LOS PUNTOS DE AGUA

La desinfección se ha de verificar midiendo el cloro libre residual. Dependiendo del contexto, puede ser:

– Cloración del agua de la red de suministro y verificación de la cantidad de cloro libre residual en los puntos de agua.

– Desinfección/rehabilitación/cierre de pozos o perforaciones.

– Cloración de otras fuentes de suministro de agua.

6.4.1.1 SISTEMA MUNICIPAL DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA

Teóricamente, el sistema debe suministrar agua con un nivel de cloro libre residual de entre 0,3 y 0,5 mg/l en los grifos. En tiempos de cólera, es absolutamente esencial incrementarlo hasta un nivel de cloro libre residual de 0,8 ó 1 mg/l medido en los grifos.

En Perú, en 1991, un problema con el sistema de cloración, junto con la contaminación de mariscos, fueron el origen de un brote muy virulento en las zonas costeras (1,5%).

Las estaciones de tratamiento pueden recibir algún tipo de apoyo:

– técnico: control diario del nivel de cloro en los puntos de agua;

– logístico: suministro de cloro y otros consumibles;

– emergencia: rehabilitación de los puntos de agua;

Por último, es necesario asegurarse de que la población está debidamente informada (prensa, radio, autoridades), de modo que sólo se dirijan a puntos de agua clorada.

6.4.1.2 POZOS POCO PROFUNDOS PERFORADOS O EXCAVADOS

Las condiciones sanitarias de estos puntos de agua dependen de la calidad de su construcción, medidas de protección (cubierta, bomba manual, etc.) y de las condiciones sanitarias del entorno (véase Capítulos XII y XIII). Son una fuente de suministro importante y por tanto no se deben descuidar. Las acciones a llevar a cabo son:

– limpieza y desinfección cuando la contaminación es evidente (Cuadro 22.3);

– rehabilitación de emergencia (trabajos en superficie, impermeabilización);

– cierre, si cualquiera de las acciones anteriores no se puede llevar a cabo de forma eficiente y si la población dispone de un suministro adecuado de agua alternativo.

La cloración directa continua del agua dentro de los pozos (por ejemplo usando un clorador flotante y acompañado de un seguimiento de la cantidad de cloro libre residual) es una actividad conveniente en caso de epidemia, que dio resultados aceptables en el pasado (intervenciones de ACF en Mogadiscio en 1998/1999). Sin embargo puede presentar muchos problemas y dar una sensación falsa de seguridad a los usuarios:

– es muy difícil hacer una cloración exacta para que sea efectiva, porque no es fácil medir con exactitud el balance dinámico entre el volumen de agua extraída y el de recarga;

– en zonas urbanas con alto riesgo para epidemias de cólera, pueden existir miles de pozos y es imposible clorarlos todos;

– se corre el riesgo que todo el cloro residual sea usado por el pozo mismo, consumido por microorganismos presentes en las paredes o en el fondo del pozo y que no quede cloro residual en el agua extraída.

Cuando sea posible, es aconsejable implementar un programa de cloración directa en los recipientes de los usuarios cerca del punto de agua, o la distribución de desinfectantes a domicilio (ver punto 6.4.2).

Cuadro 22.2
Desinfección/cierre de pozos

Los pozos se desinfectan cuando se supone que están contaminados, bien por causa de una contaminación puntual (animal muerto o basura), o porque un estudio detallado de los archivos del CTC muestra que hay un número de enfermos cuyas familias extraen agua del mismo pozo.

Cuando no haya posibilidad de evitar la contaminación de un punto de agua (ver Capítulo XV), se considerará su cierre (con la intervención de las autoridades locales), al tiempo que se debe sugerir otra fuente de suministro a los usuarios (por ejemplo otro pozo que estará debidamente protegido). Es mejor siempre consensuar en vez de imponer una decisión que puede ser ignorada fácilmente.

6.4.2 DISTRIBUCIÓN DE DESINFECTANTES A DOMICILIO

El agua puede contaminarse entre los puntos de distribución y los puntos de consumo: recipientes y tapones sucios, recipientes de almacenamiento abiertos, tomas de agua desde los recipientes de almacenamiento con vasos contaminados, etc. Este tipo de agua constituye un excelente caldo de cultivo para el vibrión del cólera si no tiene la cantidad suficiente de cloro libre residual. El agua de los puntos de agua debe mantener por lo tanto un nivel de cloro libre residual de entre 0,5 y 1 mg/l para que tenga suficiente capacidad auto-desinfectante. Si no fuera posible, se aconseja realizar la cloración doméstica. Esto es bastante difícil de conseguir desde el punto de vista logístico, puesto que cada familia tiene que recibir (o comprar…) una cantidad adecuada de producto para clorar el agua.

Para ver los diferentes tipos de producto que se pueden usar, ver Capítulo VI (Tratamiento de agua) sección del tratamiento domiciliar.

Esta solución presenta la ventaja de poder promocionarse como prevención de epidemia, apoyando la comercialización y uso sistemático de productos que liberan cloro. Ver cuadro 22.3 abajo como ejemplo de proyecto y sus resultados.

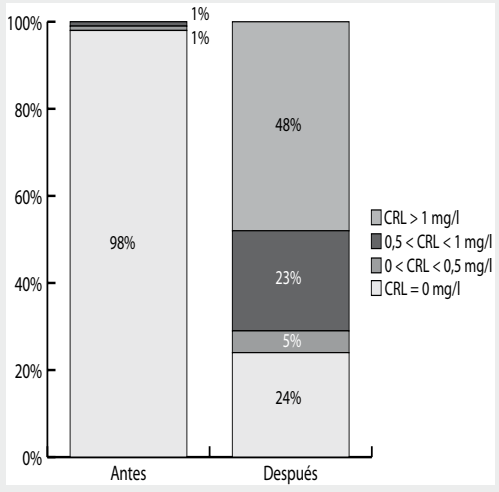
Cuadro 22.3
Experiencia de un proyecto ACF de distribución y uso al nivel domiciliar de producto que libera cloro en contexto de prevención de cólera

En 2009 en Guinea Conakry, en el marco de un programa de prevención de cólera de 8 meses, ACF puso en marcha las siguientes actividades comunitarias para 5000 familias en Matoto, el barrio de Conakry con mayor riesgo de epidemia.

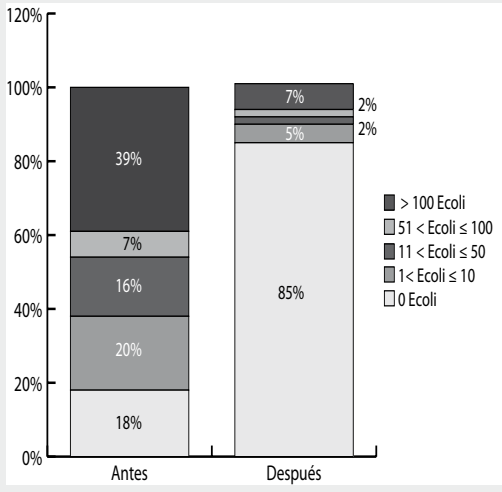
– Distribución de botellas de Sûr'Eau (producto que libera cloro, comercializado localmente por la ONG PSI). Se distribuyeron 4 botellas de Sûr'Eau por familia (una botella por mes por familia de 5 personas, para cubrir los 4 meses de mayor riesgo). Las botellas estaban acompañadas de un kit de higiene más completo, compuesto de jabón, un contenedor de plástico de 20L equipado con un grifo para el almacenamiento de agua en casa y un folleto de promoción de higiene.

– Sesiones de promoción de higiene a nivel de comunidad, al final de las cuales se distribuyeron los kits de higiene.

Para evaluar el impacto del proyecto se realizó una campaña de análisis antes y después del proyecto en 203 hogares elegidos aleatoriamente dentro de los 5000 a través del método de muestreo por grupos.



Impacto del proyecto (incluyendo distribución domiciliar de Sûr'Eau) sobre la concentración en cloro libre residual en los recipientes de agua potable.



Correspondiente impacto del proyecto (incluyendo distribución domiciliar de Sûr'Eau) sobre la contaminación fecal (Ecoli/100ml) en los recipientes de agua potable.

Las conclusiones de la evaluación son las siguientes:

- En el 71% de los hogares después del proyecto, los recipientes de agua potable tenían un agua con más de 0,5mg/l de cloro residual libre, contra el 1% antes del proyecto.
- Se notó que en casi la mitad de los encuestados, la concentración era de más de 1mg/l (sabor a cloro notable), lo que supone una sobre dosis del producto comparado con la contaminación del agua (90% de los hogares utilizan el agua de la red urbana, que presenta una polución moderada). Sin embargo, no vieron problemas particulares de aceptación del agua clorada.
- En el 24% de los casos el agua no contenía cloro libre residual después del proyecto, sin embargo solo el 15% contenía Ecoli. Esto ilustra el hecho de que aunque el agua haya estado clorada, la concentración en CLR dentro de un recipiente baja "sola" a lo largo del tiempo (de 1mg/l hasta 0,2mg/l en 24h, según los ensayos de ACF durante este mismo proyecto).

ACF valida la distribución y promoción del uso de Sûr'Eau al nivel domiciliar en Conakry como estrategia de prevención y lucha contra las epidemias de cólera.

6.4.3 CLORACIÓN DIRECTA DE RECIPIENTES EN EL PUNTO DE AGUA (BUCKET CHLORINATION)[1]

Una alternativa a la distribución de desinfectante a domicilio es la cloración de agua en los recipientes con los que las personas van a buscar agua al pozo. Esta metodología forma parte de las posibles actuaciones estándar de MSF en caso de cólera.

La cloración en los recipientes generalmente no se puede hacer cubriendo todo el territorio en riesgo, ya que existen demasiados pozos y es difícil destacar personal para efectuar la cloración en cada uno de ellos. Hay que limitarse geográficamente a un número de pozos logísticamente manejable. Por ejemplo, en Bissau (capital de Guinea Bissau), sobre los 3000-4000 pozos con que cuenta la ciudad, la recomendación sería concentrarse en 40 pozos.

<u>La actuación recomendada en zonas urbanas sería la siguiente:</u>

– Tener formada para cada pozo una persona del vecindario, que sea miembro de una de las asociaciones juveniles existentes de los barrios, que opera en la primera semana la cloración con dosis correcta de los recipientes que traen los vecinos para recoger agua.

– En la segunda semana los vecinos saben la cantidad de lejía necearía para sus recipientes y son ellos mismos los que añaden el cloro al recipiente.

– En la tercera semana el responsable del pozo se limitará a distribuir bolsas pequeñas del producto clorado elegido (como UNICEF ya lo practica en los mercados de Bissau) a los vecinos que vengan al pozo.

La elección del producto de cloración a utilizar depende de los que estén fácilmente disponibles en el mercado local (lejía, WaterGuard…). La cloración en cubo es generalmente mucho más sencilla utilizando pastillas. Es recomendable no confundir a los usuarios con diferentes productos y seguir usando el mismo.

En 2002, ACF puso en marcha un programa de cloración en los recipientes en dos campos de desplazados internos de la UNITA en Angola en las localidades de Matungo (27000 personas) y Capembe (33000 personas). Se establecieron puntos de cloración en las rutas de acarreo de agua desde el río (agua bruta de menos de 5 NTU), con equipos formados por una o dos personas, éstos calculaban el volumen que transportaba el usuario (los tipos de recipientes eran muy dispares) con un cubo graduado, en una tabla se indicaba la cantidad de solución madre necesaria para el volumen calculado. Se hacían análisis rutinarios del cloro residual en los hogares para verificar la calidad del agua así como para informar a la población de la necesidad de pasar por los puestos de cloración. La intervención tuvo un gran impacto, lográndose controlar los brotes de Sigellosis que aparecieron al inicio de la intervención, que estuvo apoyada por una campaña de promoción de la higiene efectiva y gracias a una organización interna previa muy consolidada.

1 Basado en el documento: "Report on Cholera Epidemic Intervention", Guinea Bissau, September 2008, Andreas Schiffer, MSF

7 FIN DE LA INTERVENCIÓN

Generalmente es más fácil iniciar una intervención que terminarla. La gestión de un CTC o el apoyo a centros locales se parecen en ocasiones a la gestión de un negocio, con cientos de empleados o voluntarios pagados en especie (alimentos por trabajo) que han de gestionarse como en una empresa cualquiera. Esta posición de dirección ha de mantenerse hasta el final de la intervención. Cuando disminuye regularmente el número de casos, ya no es justificable la gran inversión en recursos humanos y financieros realizada: es el momento de retirarse y, también, de evaluar la operación.

7.1 Retirada

7.1.1 CENTRO DE TRATAMIENTO GESTIONADO O APOYADO POR UNA ONG

Cuanto mayor sea el CTC y mayor sea la implicación de la ONG, más delicada será la retirada. Sin embargo, los centros no pueden continuar siendo gestionados o supervisados por ACF hasta que no hayan más ingresos.

No hay criterios claros para la retirada: en Somalia, el umbral establecido por ACF fue de 21 casos por centro de tratamiento por semana durante tres semanas consecutivas.

Si el socio local no puede hacerse cargo de un CTC que ya no es necesario dado el descenso de la gravedad de la epidemia, se debe cerrar el centro y toda la responsabilidad se transfiere a otra estructura especializada menor, a lo mejor dentro de un hospital o un dispensario. Los centros urbanos pequeños suelen ir cerrando progresivamente cuando se pone en marcha un gran centro de referencia para toda la ciudad. Por otra parte, los centros en entornos rurales tienden a permanecer abiertos durante largo tiempo, porque el traslado de pacientes a los centros de referencia suele ser difícil.

Si el CTC se transfiere a un socio local, lo ideal sería ir conociendo a este socio desde el principio para involucrarle en la gestión del centro tanto como fuera posible. Algunos socios potenciales son el Ministerio de Sanidad, un grupo de médicos tratando de organizar una infraestructura local, o una ONG (local o internacional) con un programa e infraestructuras médicas. En cualquier modo, la retirada debe ser completa:

- Hay que fijar clara y precisamente las condiciones del traspaso de funciones.
- Hay que proporcionar una entrega final de suministros (suficientes para un mes).
- Hay que pagar los salarios finales o alimentos por trabajo con algún tipo de extra.
- Hay que espaciar progresivamente la supervisión hasta pararla por completo.

7.1.2 VERIFICACIÓN Y MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA

Aunque la reaparición de un brote de cólera sea dramática, es simplemente episódico, en tanto que otras enfermedades diarreicas sigan prevaleciendo y sean una causa importante de mortalidad infantil. Además, el único modo de evitar el cólera es mejorar las condiciones de suministro de agua y saneamiento y los comportamientos higiénicos de la población. Si actividades como la distribución de agua clorada por camión o la cloración directa de agua en los recipientes a nivel de punto de agua pueden parar después de la epidemia, las acciones que mejoran la calidad de agua a nivel domiciliar (promoción del uso productos que liberan cloro, promoción de higiene en las escuelas…) deben seguir. La vigilancia de la calidad del agua también debe continuar: ha de centrarse en los puntos de agua más problemáticos y/o los que tengan mayor afluencia. De todos modos hay que vigilar los puntos de agua de la zona en toda su extensión. La calidad del agua se determina con análisis bacteriológicos regulares (ver Capítulo V). A largo plazo, la estrategia más adecuada para erradicar el cólera de una zona consiste en identificar precisamente los sitios donde se origina[1] por medio de estudios epidemiológicos y poner en marcha programas de desarrollo en el sector WASH en estas zonas.

1 Lugares donde el vibrión se puede quedar "durmiendo" durante varios años, y que suelen ser puntos de partida de nuevas epidemias.

7.1.3 EQUIPOS DE DESINFECCIÓN, BÚSQUEDA ACTIVA Y PROMOCIÓN DE LA HIGIENE

El cierre de los centros conlleva la disolución de los equipos que se han creado. Sin embargo, algunos continuarán trabajando bajo el control de los centros de referencia, que mantienen algunas capacidades logísticas para trabajar en su área.

Es aconsejable mantener la misma actividad pero a menor escala con el fin de recoger datos de campo con los que poder hacer un seguimiento del desarrollo de la epidemia, junto con los datos de los centros que siguen trabajando. Puede que aparezcan algunos brotes en ciertas áreas, especialmente en sitios con cólera endémico, en estos casos los equipos de desinfección son capaces de detectarlos y actuar en consecuencia.

Al final de la epidemia, el sistema de seguimiento del cólera se integra en el sistema de vigilancia nacional.

7.2 Evaluación

El análisis de la epidemia basado en datos epidemiológicos permite evaluar la eficiencia de la intervención, y en particular la de ACF, y compararla con los objetivos iniciales (¿ha cubierto las necesidades la estrategia de intervención que se definió?).

Los puntos clave a examinar son la rapidez de la implementación, la disponibilidad de los suministros, la calidad de la capacitación del personal y la efectividad de la coordinación entre las diferentes organizaciones que intervienen y las personas.

7.2.1 SUPUESTOS DE PARTIDA

¿Se confirmaron los supuestos de partida? (ritmo de propagación, áreas afectadas, tasa de expansión, etc.). Si no, ¿por qué?

¿Se pudo prever el desarrollo de la epidemia, o excedió todas las previsiones? ¿Faltó información fiable? ¿Fue insuficiente el análisis? ¿Ocurrieron cosas impredecibles?

7.2.2 DATOS EPIDEMIOLÓGICOS

Cuando se considera que la epidemia ha remitido, se establecen algunas cifras:

- número total de casos, ritmo de contagio y distribución en el tiempo;
- distribución geográfica de los casos y ritmo de contagio (por vecindario o por aldea);
- distribución por grupos de edad y sexo de los casos declarados y de las muertes;
- número de casos secundarios (incluyendo familias), relación de casos secundarios a casos totales (y desarrollo);
- número de muertes y relación de mortalidad (número de muertes por número de casos) en general y por centro de tratamiento;
- gravedad de los casos admitidos (grado de deshidratación en la admisión);
- tratamiento dado (qué tratamiento y bajo qué método, oral o intravenoso).

El ritmo del contagio se analiza cuidadosamente porque refleja las características del entorno, los hábitos higiénicos de la población y la capacidad de respuesta de las organizaciones para conseguir una mejora (provisional) de las condiciones sanitarias por medio de la promoción a la higiene, desinfección, gestión rigurosa de los CTC (aislamiento) y suministro de agua. El número de casos secundarios es también un buen indicador de las condiciones y los hábitos higiénicos. La evolución de la relación de los casos secundarios frente a los casos totales se ha de comparar con las actividades de los equipos de desinfección y cloración del suministro de agua.

La distribución geográfica del ritmo de contagio es un factor importante: las diferencias geográficas pueden ser interpretadas como diferencias ambientales (suministro de agua/saneamiento/vivienda) o diferencias en la efectividad de la intervención. En entornos parecidos, ¿Qué acciones (o su modo de ejecutarlas) son responsables de estas diferencias? En cualquier caso un ritmo de contagio relativamente bajo puede explicarse a veces porque los enfermos han sido tratados en sus casas a causa de la distancia o de la inseguridad, o porque la información no ha sido efectiva.

Por último, la tasa de mortalidad es un indicador importante. Según la OMS, cuando es inferior a 1%, indica un buen control de la epidemia por la intervención médica y sanitaria (detección y tratamiento rápido de los casos en particular). Esta cifra tiene significado solamente en relación con un entorno concreto: en la práctica, el personal médico en terreno tiene un conocimiento mejor del significado del "control" de la epidemia (lo que sería evitable y lo que no). En algunas situaciones, teniendo en cuenta todas las limitaciones, una tasa de mortalidad del 10% puede considerarse un resultado positivo (sin el tratamiento alcanzaría el 50%).

Un número elevado de factores que apenas pueden cuantificarse y que son causa de contagios, hace que sea difícil interpretar las cifras epidemiológicas. Lo importante es evaluar tendencias y establecer comparaciones. En cualquier caso, siempre hay alguna incertidumbre sobre la validez de los datos registrados.

7.2.3 COSTES

Se redactan tres balances de la intervención:

– Coste total: artículos médicos y sanitarios, materiales para la rehabilitación, suministro de agua y otros equipos, logística, salarios.

– Coste por enfermo tratado.

– Coste por artículo consumido (HTH, SRO, lactato de Ringer, antibióticos, etc.).

7.3 Respuesta tras el cólera

Una intervención en cólera consume gran cantidad de energía, a veces en detrimento de otros programas en curso de las ONG, pero también se obtienen otros resultados positivos:

– identificación de áreas nuevas de riesgo en términos de agua y saneamiento;

– trabajo con ONG locales y evaluación de su eficiencia;

– creación de una cierta dinámica entorno al saneamiento dentro de la comunidad y entre los responsables principales que toman las decisiones;

– reforzamiento de lazos entre las partes internacionales que intervienen y las autoridades técnicas nacionales que coordinan las acciones;

– medición (y justificación, retrospectiva) del impacto de los programas en macha en términos de prevención, con el análisis de las estadísticas de los CTC.

Por tanto, la intervención proporciona también un mejor conocimiento del área geográfica cubierta, que puede ser el comienzo de una posible reorientación de las actividades.

CAPÍTULO XXIII

Centros de nutrición terapéutica

1	**Introducción**	655	*2.2.3*	*Cloración*	657
2	**Guías y recomendaciones**	655	*2.2.4*	*Análisis del agua*	657
2.1	Guías	655	*2.2.5*	*Promoción de la higiene*	658
2.2	Recomendaciones	657	*2.2.6*	*Vigilancia de la salud*	658
2.2.1	*Saneamiento*	657	**3**	**Plano de CNT**	658
2.2.2	*Suministro de agua*	657			

1 INTRODUCCIÓN

Con el fin de abordar el problema de la desnutrición aguda, ACF monta centros de nutrición suplementaria (CNS) y centros de nutrición terapéutica (CNT), o apoya el funcionamiento de estructuras gubernamentales. Los CNS son estructuras temporales en los que los pacientes se acogen por un espacio de tiempo corto, durante unas horas al día. Los CNT son estructuras mucho más duraderas en las que el paciente, con un cuidador, permanece durante un mes aproximadamente. Ambos tipos de centros requieren instalaciones adecuadas para el suministro de agua y para el saneamiento.

Los pacientes muy desnutridos (niños, a menudo) son inmunodeficientes, lo que significa que no tienen la posibilidad (o tienen poca posibilidad) de combatir infecciones como lo harían las personas saludables. Hay un riesgo elevado de contagio rápido o de brotes de enfermedades en ambientes alrededor de los CNT. Los pacientes que contraen enfermedades en los CNT tardarán más en recuperarse de la desnutrición aguda, y pueden sufrir consecuencias más graves o incluso la muerte. Para limitar el riesgo de contagio es preciso que se disponga de instalaciones sanitarias adecuadas y que se apliquen normas estrictas de higiene en todo el entorno del CNT. Este capítulo trata exclusivamente de los CNT.

2 GUÍAS Y RECOMENDACIONES

2.1 Guías

Tabla 23.I: Guías para el agua y el saneamiento en los CNT.

Actividades	Medios	Guías	Nota
Suministro de agua	Pozo perforado /excavado dotado de bomba (manual o eléctrica), o conexión a una red de distribución Depósito de almacenamiento rellenado desde el exterior por camiones cisternas Tanques conectados a rampas con grifos (en el caso de agua traída con camiones cisterna, red de distribución, o bomba motorizada) – Filtros lentos de arena (biofiltros) si no se dispone de una fuente de agua segura – Cloro[1] etc.	45-90 l/ paciente/ día (incl. persona acompañante) Cloración del agua potable Agua potable disponible en cocina, sección de admisión, habitaciones con pacientes, etc. Hay agua segura para usos domésticos Los depósitos existentes son suficientes para asegurar el suministro del agua	El cloro residual es de 0,5 mg/l (nunca < de 0,3 mg/l) Turbidez[2]<de 5 NTU Incolora 0 coliformes fecales / 100 ml de agua[2] La contaminación química respeta las recomendaciones del Ministerio de Salud o de la OMS[2] (hay que prestar atención a los nitritos y nitratos)
Disponibilidad de instalaciones para el lavado de ropa y utensilios	Lavaderos para ropa y platos Baños Jabón en todos estos sitios Recipientes adecuados para lavarse las manos a la salida de las letrinas (agua clorada)	1 lavadero cada 50 cuidadores/ día 50 personas / baño / día Los baños están iluminados por la noche Hay recipientes adecuados de agua en cada habitación	Limpieza diaria de las instalaciones con sol. clorada al 0,2% Platos y ropa se lavan con jabón o con sol. clorada al 0,2% Las manos se lavan con sol. clorada al 0,05% Se prohíbe el uso de toallas públicas para secarse las manos
Aseos [3]	Instalar letrinas ventiladas VIP (Ventilated improved pits latrines) o inodoros con cisterna si es posible Orinales para los niños	25 personas / día / aseo Las letrinas están cerca del edificio Las letrinas se construyen al menos a 30 m de los pozos Las letrinas están iluminadas durante la noche	Las instalaciones se limpian diariamente con sol. clorada al 0,2%, procurando no echar cloro en el foso de las letrinas (detendría la descomposición de los excrementos) Se añade ceniza al foso para reducir los olores y las moscas
Recogida de basuras [3]	Vertederos Basureros Incineradores	Un vertedero por centro como mínimo Un incinerador por centro como mínimo Colocar basureros distribuidos por todo el centro	Cubrir los vertederos con tapas Mantener el humo del incinerador bajo control
Saneamiento ambiental[3]	Canales de drenaje Trampas de grasa Foso séptico Pozo absorbente Zanja de infiltración Limpiadores	Suficientes canales de drenaje para eliminar toda el agua residual. Una trampa de grasa a la salida de la cocina Limpieza diaria del suelo de las salas de estar	Los canales de drenaje se limpian diariamente (evitando el desbordamiento hacia habitaciones vecinas) Buen mantenimiento de las instalaciones de recogida de basuras Limpieza en húmedo de los suelos para no levantar polvo Evitar charcos
Promoción de la higiene[4]	Educadores de la salud Carteles Sesiones de formación	Carteles informativos distribuidos por todo el centro explicando el uso de las instalaciones	
Control de los vectores	Mosquiteras Uso de insecticidas Instalaciones de saneamiento ambiental		Los canales de drenaje se limpian a diario Las aguas superficiales se han de desaguar fuera del centro

[1] Ver el Capítulo VI "Tratamiento del Agua" para la cloración del agua y preparación de soluciones madre
[2] Ver Capítulo V para el análisis del agua
[3] Ver Capítulos XIX para cuestiones sobre saneamiento
[4] Ver Capítulo XX para la promoción de la higiene

2.2 Recomendaciones

El seguimiento estricto de las recomendaciones debería proteger al centro de cualquier riesgo sanitario. El personal debe entrenarse para asegurar un buen mantenimiento, limpieza, uso y operación de todas las instalaciones.

2.2.1 SANEAMIENTO

Teniendo en cuenta la alta concentración de personas (vulnerables a enfermedades contagiosas) en estos centros, se requiere una atención especial al saneamiento (para más detalles sobre los puntos que siguen, ver Capítulo XIX):

– Los pacientes pueden venir de regiones muy distintas y pertenecer a grupos étnicos o religiosos muy dispares, de modo que se han de considerar cuidadosamente los asuntos relacionados con aspectos socio-culturales, religiosos o de género antes de diseñar las instalaciones sanitarias.

– La mayor parte de los enfermos son niños y niñas, que requieren atención especial.

– El vaciado de los fosos de las letrinas se debe programar y llevar acabo correctamente y antes de que se llenen completamente.

– Las estructuras permanentes se han de instalar tan pronto como lo permita la situación.

– La cocina y las instalaciones de lavado producen bastantes aceites y grasas, que se deben controlar con trampas de grasa para evitar acumulaciones.

2.2.2 SUMINISTRO DE AGUA

El suministro de agua será efectivo si la instalación permanece en buen estado (limpieza y mantenimiento) y se usa adecuadamente. El personal debe tener la capacitación técnica apropiada: hay que prestar atención específica al mantenimiento rutinario de las bombas, ya que cualquier corte de agua puede cerrar el centro. Hay que tener repuestos disponibles en todo momento.

En el caso de bombas con motor diesel o eléctrico, la tecnología escogida debe estar al alcance de los operarios del lugar (hay que entrenar específicamente a la persona a cargo de la operación) y la disponibilidad de consumibles se asegura con suficientes existencias en el almacén (durante los conflictos, el acceso a diesel o gasolina puede ser difícil).

En lo referente a la higiene de los puntos de agua, el personal debe estar vigilante para evitar que se formen charcos.

2.2.3 CLORACIÓN

La experiencia de ACF indica que es recomendable la preparación de un solo tipo de solución madre de cloro para todo el centro: solución con un cloro residual de 0,5 mg/l (como para el agua potable). Se añade más cloro a esta solución para tener las concentraciones requeridas en otras aplicaciones (ver Tabla 23.II), fabricando sólo la cantidad necesaria en todo momento para evitar el almacenamiento de varios tipos que pueden inducir a confusión y mal uso. Para los detalles técnicos dirigirse al Capítulo VI.

Tabla 23.II: Concentración de cloro según la aplicación.

Concentración de cloro	Aplicación
0,5 mg/litro	Agua potable
0,5 g/litro (0,05%)	Lavado de manos
2 g/litro (0,2%)	Limpieza diaria de letrinas y baños Limpieza de tanques de agua Limpieza de artículos que han estado en contacto con enfermos de diarrea (cama, sábana, etc.) Vajilla y ropa cuando sea necesario

2.2.4 ANÁLISIS DEL AGUA

El análisis del agua y la cloración se han de hacer adecuadamente y la persona a cargo ha de ser capacitada específicamente, incluyendo una sensibilización a los propósitos de la cloración y del análisis (objetivo e importancia de la verificación diaria).

Los principales parámetros a verificar son (ver Capítulos V y VI):

– el pH: para escoger y diseñar cualquier proceso de tratamiento;

– turbidez: si hay cambios sospechosos en la turbidez del agua cruda y regularmente para verificar la efectividad del proceso de clarificación;

– cloro libre residual: diariamente.

Se deben entrenar también en las técnicas de análisis y cloración a los supervisores del centro (tanto los expatriados como los contratados localmente) y a los promotores de higiene.

Cuando se realiza una floculación antes de la cloración, se debe controlar regularmente el coagulante residual. En caso de problemas, se transmite la información al personal a cargo del tratamiento. Esto se debe incluir en la capacitación.

2.2.5 PROMOCIÓN DE LA HIGIENE

El primer objetivo de esta actividad consiste en la protección del centro contra riesgos sanitarios. Pero la promoción de la higiene también aspira a mejorar las prácticas higiénicas de las personas para cuando regresen a sus casas. El promotor de la higiene ha de ser consciente de la existencia o no de instalaciones tales como bidones para lavarse las manos en las letrinas, lavaderos y a veces puntos de suministro de agua segura e incluso letrinas en las casas donde vive la gente. Por tanto, hay que hacer una buena promoción de la higiene con los pacientes antes de que regresen, para que adopten estos hábitos en sus casas.

Ya que las enfermedades relacionadas con la falta de higiene, agua y saneamiento son una de las causas de la desnutrición, la promoción de la higiene tiene que llevarse a cabo cuidadosamente (ver Capítulo XX) e incluir una promoción al saneamiento y al uso de agua segura.

2.2.6 VIGILANCIA DE LA SALUD

La salud de los enfermos debe vigilarse para identificar cualquier enfermedad relacionada con problemas sanitarios. Habrá datos disponibles por parte del nutricionista de ACF a cargo del centro o de centros de salud a donde hayan sido enviados por ACF. Cada semana, la evolución de los datos sobre la salud puede ayudar a verificar que el agua, el saneamiento y la higiene son satisfactorios y permiten reaccionar en caso de problemas.

3 PLANO DE UN CNT

La figura 23.1 muestra un ejemplo de un plano de CNT.

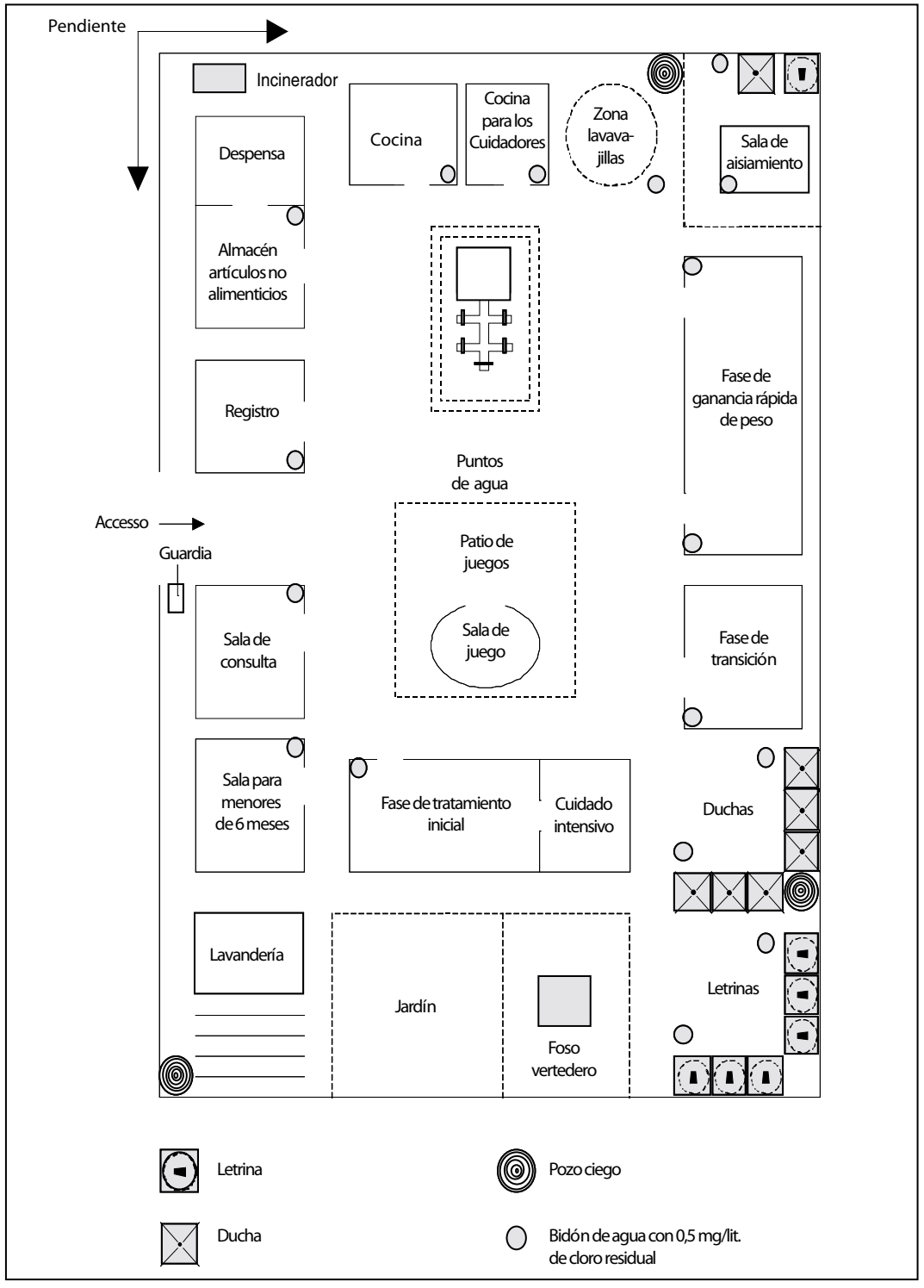


Figura 23.1: Ejemplo de distribución en planta de un CNT (adaptado del libro de ACF, "Assessment and treatment of malnutrition in emergency situations" (Action contre la Faim, 2002)).

ANEXO

ANEXO 1

Indicadores de referencia

1	**Introducción**	663	**3**	**Directivas para planificar el número mínimo de letrinas en lugares públicos e instituciones en situaciones de emergencia**	666
2	**Directivas para planificar el suministro de cantidades mínimas de agua a centros públicos y para otros usos**	665	**4**	**Indicadores-guía relacionados con seguridad alimentaria**	666

1 INTRODUCCIÓN

INDICADORES-GUÍA EN AGUA Y SANEAMIENTO SEGÚN SEA LA SITUACIÓN

Las tablas dadas a continuación son una guía de los indicadores sobre el agua y el saneamiento. Las referencias a usar en situaciones estables deben ser las normativas nacionales. Como es difícil determinar los indicadores de referencia para todas las situaciones, los que se incluyen en las tablas siguientes son solo unos ejemplos escogidos de algunos programas.

Tabla I. Indicadores-guía para diferentes situaciones.

	Emergencia	Situación estable
Cantidad mínima para el consumo humano (beber + cocinar + higiene)	15 litros/persona/día	Normativa nacional 30 – 60 litros/persona/día
Centros de nutrición	30 litros/paciente/día (15l/p/d por acompañante)	50 – 220 litros/paciente/día
Centros de salud	50 litros/paciente/día	
Distancia máxima al punto de agua	500 metros	50 metros
Número de personas por punto de agua	15 litros/persona/día 8 horas de suministro: – 500 personas por bomba manual (16,6 litros/minuto) – 400 personas por pozo abierto (12,5 litros/minuto) – 250 personas por grifo de 3/4" (7,5 litros/minuto)	50 litros/persona/día 8 horas de suministro – 150 personas por bomba manual (16,6 litros/minuto) – 120 personas por pozo abierto (12,5 litros/minuto) – 75 personas por grifo (7,5 litros/minuto). Con conexión en la vivienda.
Tiempo máximo de espera	15 minutos	Sin tiempo de espera, o de pocos minutos
Calidad del agua	0 coliformes/100 ml. La encuesta sanitaria indica poca probabilidad de contaminación fecal. Para poblaciones de más de 10 000 personas, en sitios con alto riesgo de epidemias, o donde haya diarreas generalizadas, se recomienda clorar el agua y asegurar un nivel de cloro libre residual de 0,5 mg por litro (y de 1mg/l si el pH>8) con una turbidez inferior a 5 NTU. Usar los valores recomendados por la OMS para los parámetros físico-químicos y evaluar el riesgo de consumo del agua disponible durante períodos cortos (emergencias), evaluando también la posibilidad de usar otras fuentes de agua. En caso de riesgo alto, la elección de fuentes alternativas es obligatoria, y se deben cancelar los puntos de alto riesgo. El total de sólidos disueltos no debe exceder los 1 000 mg/litro, o una conductividad de 2 000 µs/cm Para evitar efectos negativos sobre la salud el agua no debe tener contaminación química o radioactiva.	
Zonas de defecación	A 50 metros mínimo del punto de agua subterráneo más cercano. Zanjas: 2,5 m x 0,3 m x 1 m cada 100 personas.	No hay zonas de defecación.
Letrinas	1ª fase: 1 letrina pública cada 50 personas. 2ª fase: 1 letrina pública cada 20 personas. 3ª fase: 1 letrina por familia	1 letrina por familia
Acceso a las letrinas	A más de 50 m del pozo más próximo y a menos de 50 m de la casa	

2 DIRECTIVAS PARA PLANIFICAR EL SUMINISTRO DE CANTIDADES MÍNIMAS DE AGUA A CENTROS PÚBLICOS Y PARA OTROS USOS

(SPHERE 2004 and "Water, Sanitation and Hygiene Standards for School in Low Cost Settings", WHO 2009)

Centros de salud y hospitales	5 litros/paciente externo y 40 – 60 litros/paciente interno/día. Se pueden requerir cantidades adicionales para la lavandería, letrinas, etc.
Centros de tratamiento de cólera	60 litros/paciente/día 15 litros/cuidador/día
Centros terapéuticos de nutrición	30 litros/paciente externo/día 15 litros/cuidador/día
Escuelas	5 litros/alumno-empleado/día para beber y lavarse las manos (sin incluir el consumo en las letrinas, ver más adelante)
Mezquitas	2 – 5 litros/persona/día para la higiene, las abluciones y beber, sin incluir las posibles letrinas
Baños públicos	1 – 2 litros/usuario/día para lavado de manos 2 – 8 litros/cubículo/día para limpieza del habitáculo Letrinas con descarga convencional: 10 – 20 litros/usuario/día para letrinas con cadena 1,5 – 3 litros/usuario/día para letrinas con sello sifónico perso sin cadena Lavado anal: 1 – 2 litros/persona /día
Abrevaderos de animales	20 – 30 litros/ganado mayor o mediano/día 5 litros/ganado menor/día
Riego a pequeña escala	3 – 6 litros/m^2/día, pero puede variar mucho

3 DIRECTIVA PARA PLANIFICAR EL NÚMERO MÍNIMO DE LETRINAS EN LUGARES PÚBLICOS E INSTITUCIONES EN SITUACIONES DE EMERGENCIA

Fuente: Proyecto Sphere, 2004 (adaptado de Harvey, Baghri & Reed 2002)

Institución	Corto plazo	Largo plazo
Mercados	1 letrina cada 50 puestos	1 letrina cada 20 puestos
Centros médicos / hospitalarios	1 letrina cada 50 pacientes externos 1 letrina cada 50 camas	1 letrina cada 20 pacientes externos
Centros de nutrición	1 letrina cada 20 niños 1 letrina cada 50 adultos	1 letrina cada 10 niños 1 letrina cada 20 adultos
Recepción y centros de tránsito	1 letrina cada 50 personas 3:1 mujeres/hombres	
Escuelas	1 letrina cada 30 niñas 1 letrina cada 60 niños	
Oficinas	1 letrina cada 20 empleados	

NOTA: Es conveniente consultar y aplicar las directivas nacionales, si las hay, para las infraestructuras asociadas a los espacios públicos

4 INDICADORES-GUÍA RELACIONADOS CON SEGURIDAD ALIMENTARIA

Tabla II: Cantidades de agua requeridas.

Huertos nutricionales	Depende del tipo de cultivo; orientación: 5 litros/m^2/día
Ganado menor*	5 litros/cabeza/día
Ganado mayor*	
– Burros	20 litros/cabeza/día
– Vacas	30 litros/cabeza/día
– Camellos	40 litros/cabeza/día

* En países tropicales y saharianos se usa una unidad estándar equivalente a una vaca de 250 kg, la Unidad Tropical de Ganado (UTG). Esta unidad se usa como referencia para los animales con las siguientes proporciones:

Vacas y caballos:	1 UTG
Burros	0,4 UTG
Ovejas y cabras	0,2 UTG
Camellos	1,2 – 2 UTG

Tabla III: Directiva sobre la calidad microbiológica recomendada para la utilización de agua residual en agricultura[1] (según Cairncross & Feachem, *Environmental health engineering in the tropics, 1983).*

En cada caso específico, se deben tener en cuenta los factores locales epidemiológicos, socioculturales y ambientales para modificar las directivas según proceda.

Categoría	Condiciones para la reutilización	Grupo de riesgo	Nemátodos intestinales[2] (media aritmética[3], nº de huevos por litro)	Coliformes fecales (media geométrica[3] nº por 100 ml)	Tratamiento del agua con el que se espera obtener la calidad microbiológica deseada
A	Riego de cultivos que se comen cru dos, campos de deporte, parques públicos[4]	Trabajadores, consumidores, gran público	Inferior a 1	Inferior a 1 000 [4]	Serie de balsas de estabilización diseñadas para obtener la calidad microbiológica deseada o tratamiento similar
B	Riego de cereales cultivos industriales, pastos y árboles[5]	Trabajadores	Inferior a 1	Sin norma recomendada o tratamiento equivalente para eliminar helmintos y coliformes fecales	Se recomienda mantener en balsas de estabilización durante 8 – 10 días
C	Riego localizado de cultivos tipo B pero solo si no están expuestos los trabajadores ni al público	Ninguno	No aplicable	No aplicable	Pretratamiento según lo requiera la técnica del regadío, pero nunca menor que la sedimentación primaria

1. Hay que tener en cuenta en cada caso concreto los factores epidemiológicos, socioculturales y ambientales locales y adaptar los valores de las guías según sea el caso.
2. Especies de *Ascaris* y *Trichuris* y gusanos.
3. Durante el período de riego.
4. Para jardines públicos con césped, tales como el jardín de los hoteles, es más adecuado adoptar una recomendación más restrictiva (menos de 200 coliformes fecales por 100 ml), ya que el público puede entrar en contacto directo.
5. En el caso de frutales, el riego debe cesar dos semanas antes de la recogida, y no se debe recoger fruta alguna del suelo. No se debe usar el riego por aspersión.

ANEXO 2

Cálculo de indicadores

1	**Indicadores generales**	669	**2**	**Cálculo de indicadores específicos para el agua y saneamiento**	673
1.1	Estimación de la población	669	2.1	Cantidad de agua disponible y consumo de agua	673
1.2	Mortalidad	670	2.2	Acceso al punto de agua	674
1.3	Morbilidad	671	2.3	Calidad del agua	674
1.4	Estado nutricional	671	2.4	Saneamiento e higiene	675
1.5	Indicadores de seguridad alimentaria	672	2.5	Gestión del Agua	675

1 INDICADORES GENERALES

1.1 Estimación de la población

Si no hay información fiable sobre las cifras de población, siempre pueden estimarse de forma aproximada. Hay dos posibilidades:

1) Seleccionar tres áreas de 100 x 100 m al azar. Contar la población dentro de cada área y calcular el promedio. Estimar la población de la zona aplicando este promedio a toda la superficie del asentamiento.

Ejemplo: la superficie total del asentamiento es de 6 km^2:

– Área A: 100 personas,

– Área B: 150 personas,

– Área C: 180 personas,

Media: 143 personas

Estimación para toda la zona: 143 personas/0,01 km^2 x 6 km^2 = 86 000 personas.

2) Estimar el promedio de personas en una unidad familiar (promedio de 20 familias escogidas al azar) y número de familias en una casa. Contar las casas y estimar la población. Si la población es elevada, siempre será posible extrapolar a partir de áreas representativas más pequeñas.

INDICADORES DEL DESGLOSE POR EDADES DE LA POBLACIÓN (EN PORCENTAJE DE LA POBLACIÓN TOTAL)

Edad (años)	África (%)	Latinoamérica (%)	Asia (%)
< 1	4	3	3
1 – 4	13	10	12
5 – 14	27	24	26
15 – 44	42	45	44
> 45	14	18	16
La distribución por sexo es aproximadamente 50: 50.			

1.2 Mortalidad

La mortalidad puede cambiar rápidamente, normalmente se estima por días, semanas o meses. Hay varios indicadores, pero los más comunes son, el número total de muertes (respecto a la población total) y la mortalidad infantil en menores de 5 años. La mortalidad puede calcularse también en relación con causas específicas (ritmo de mortalidad por alguna causa concreta).

Es importante hacer una interpretación con un análisis estricto e intercambiando información con el sistema sanitario (verificando las fuentes de información, la exactitud de los datos de muertes y el desglose de la población). La interpretación debe identificar las tendencias y buscar las causas.

INDICADORES

– *Tasa de mortalidad* (CMR, *Crude Mortality Rate*) = número total de muertes notificadas en un período dado de tiempo por población estimada a la mitad del período. En emergencias se expresa como un número por 10.000 personas y día.

– *Tasa de mortalidad infantil, específico para niños menores de 5 años (U5MR)* = número de muertes notificadas en un período dado de tiempo de niños menores de 5 años sobre la población estimada de niños menores de 5 años a la mitad del período. En emergencias se expresa como un número por 10 000 niños y día.

– *Tasa de mortalidad por alguna causa concreta* = número de muertes atribuidas a esta causa concreta durante un período de tiempo por población estimada a la mitad del período. En emergencias se expresa como un número por 10 000 personas y día.

– *Tasa de letalidad* = número de muertes por número de casos de la enfermedad en cuestión. Se expresa generalmente en porcentaje.

CÁLCULO DE LA TASA DE MORTALIDAD

– Contar las muertes diarias durante una semana y calcular el promedio diario.

– Tasa de mortalidad: (número de muertes x 10 000/(número de días x población) = número de muertes/10 000 personas/día.

– Tasa de mortalidad para grupos específicos (p.ej. para menores de 5 años) o para casos específicos: la misma fórmula pero considerando nada más las muertes y los grupos considerados.

LAS TASAS DE MORTALIDAD COMO INDICADORES DE LA GRAVEDAD DE UNA SITUACIÓN EN PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO.

Tasa de mortalidad	Situación	Tasa de mortalidad <5 años
0,5/10 000/día	Normal	<1/10 000/día
<1/10 000/día	Bajo control	<2/10 000/día
(1 – 2)/10 000/día	Situación grave*	(2 – 4)/10 000/día
>2/10 000/día	Fuera de control**	>4/10 000/día
>5/10 000/día	Catastrófica	>10/10 000/día

* Se dispara la alerta
** Se dispara la emergencia

Estos límites se han de usar con precaución y en relación con el análisis de la situación. Se recomienda también hacer el seguimiento de una situación con el análisis de tendencias: si los indicadores de nutrición y/o mortalidad se deterioran con el tiempo, aunque se mantengan dentro de los límites, es que la situación está empeorando.

1.3 Morbilidad

Las pautas de una enfermedad se evalúan con:

– Discusión con los trabajadores sanitarios de la población afectada y otros servicios sanitarios; esta es una forma de obtener información cualitativa.

– Observación directa por parte del personal médico; esto es útil para determinar la presencia de ciertos problemas sanitarios, tales como el sarampión.

– Estudios retrospectivos de las muestras cuando se necesitan datos cuantitativos sobre la incidencia de ciertas enfermedades a lo largo de un período de tiempo.

INDICADORES

– Incidencia: número de casos nuevos de una enfermedad concreta notificados a lo largo de un período de tiempo dado por población expuesta y estimada a la mitad del período. Se expresa generalmente como el porcentaje de casos nuevos al mes, o el número por mil y por semana en emergencias.

– Persistencia: número de casos en curso, nuevos y antiguos – de una enfermedad concreta en un punto y en un momento dados, por población expuesta en el mismo punto y tiempo. Se expresa generalmente como un porcentaje.

– Tasa de contagio: número de casos nuevos de una enfermedad concreta notificados a lo largo de la duración de la epidemia, por población total expuesta y estimada a lo largo del mismo período. Se expresa generalmente en porcentaje.

1.4 Estado nutricional

La persistencia de una desnutrición aguda de entre el 5 y el 8% indica que la situación nutricional es preocupante y una persistencia superior al 10% corresponde a una situación nutricional seria (Comité Permanente sobre la Nutrición, Sistema de las Naciones Unidas, 1995) (estos porcentajes han de analizarse dentro de su situación para tomar decisiones).

CÁLCULO DE LOS INDICADORES

Estado	Desnutrición aguda global (%)	Desnutrición aguda severa (%)
Normal	< 5	< 1
Bajo control	< 10	< 5
Fuera de control	> 10	> 2
Catastrófica	> 20	> 5

El estado nutricional puede evaluarse con medidas clínicas, antropométricas o biológicas. Los indicadores usados generalmente en el campo son las medidas antropométricas y la presencia de edema bilateral. Las medidas antropométricas usadas más comúnmente son:

– peso;

– altura;

– circunferencia a la mitad del brazo (**MUAC,** mid upper arm circumference).

El peso y la altura de forma aislada son parámetros poco ilustrativos del estado nutricional. Se han de usar conjuntamente entre sí o referidos a la edad, para poder establecer índices antropométricos. La presencia del edema bilateral se considera que es característica de Kwashiorkor (desnutrición severa de los niños, resultado de una dieta excesivamente rica en hidratos de carbono y baja en proteínas).

DESNUTRICIÓN AGUDA (NIÑOS DE 6 A 59 MESES)

Los dos síntomas de desnutrición aguda son: una baja relación del índice peso/altura y la presencia de edema bilateral. La desnutrición se clasifica en severa o moderada según el índice peso-altura.

Desnutrición aguda severa

– índice peso-altura < 70 % de la media (o puntuación inferior a -3 Z-scores).

– y/o presencia de edema bilateral (si hay presencia de edema, el individuo se clasifica como severamente desnutrido, independientemente de la cifra del índice peso/altura)

Desnutrición aguda moderada

– índice peso-altura ≥ 70% y < 80% de la media (o puntuación ≥-3 Z-scores y < -2 Z-scores)

Desnutrición aguda global (total de individuos desnutridos)

– peso/altura < 80% de la media (o puntuación inferior a -2 Z-scores)

– y/o presencia de edema bilateral.

Entre los niños con edema, se puede hacer una distinción según la cifra del índice peso-altura.

Kwashiorkor

– presencia de edema e índice peso-altura ≥ 80% de la media (o puntuación ≥ -2 Z-scores).

Kwashiorkor-marasmo

– presencia de edema e índice peso-altura < 80% de la media (o puntuación < -2 Z-scores).

USO DEL MUAC

No existe un umbral aceptado internacionalmente para clasificar la desnutrición con el MUAC. ACF usa los siguientes umbrales para niños de entre 6 y 59 meses.

MUAC	Diagnóstico
< 110 mm	Desnutrición severa.
≥ 110 y < 120 mm	Desnutrición moderada
≥ 120 y <125 mm	Riesgo evidente de desnutrición.
≥ 125 y < 135 mm	Riesgo moderado de desnutrición.
≥ 135	Estado de nutrición satisfactorio.

Para mayor información, ver *Assessment and treatment of malnutrition in emergency situations,* Action Contre la Faim, 2002 y Medida de la mortalidad, el estado nutricional y la seguridad alimentaria en situaciones de crisis: metodología SMART, 2006.

1.5 Indicadores de seguridad alimentaria

Es importante distinguir, en lo que se refiere a seguridad alimentaria, si las personas son capaces de producir la mayoría de los artículos de su dieta diaria (cereales, carne, pescado, verduras, etc.) o si han de comprar la mayor parte de sus alimentos. Los indicadores presentados a continuación se han clasificado siguiendo esta línea de pensamiento y se aplican a las áreas rurales, donde trabaja generalmente ACF.

No hay valores de referencia específicos que se puedan usar para definir los indicadores generales de valoración de la seguridad alimentaria en todas las situaciones posibles; los valores de referencia de los contextos socio-económicos y agro-económicos tienen influencia sobre los valores y han de tenerse en cuenta, lo que hace que la lista de los indicadores potenciales mostrados aquí haya de adaptarse a cada contexto específico donde tengan aplicación.

Los datos relacionados con los siguientes indicadores de seguridad alimentaria se pueden comparar con los datos de referencia de un año normal en cada situación, contrariamente a los indicadores de agua y saneamiento y nutrición que se comparan con los valores de las especificaciones de referencia.

1) Indicadores clave de los productores de alimentos

– Tamaño de las huertas privadas: hectáreas de tierra arable/familia.

– Número de cosechas por familia: cuanto menores sean las cosechas distintas, mayores serán los riesgos externos para la producción.

– Clase de cosechas: cosechas de productos básicos (componentes principales de la dieta), cereales, cultivos de huerta, etc.

– Producción: rendimiento/ha.

– Mercado – relación de subsistencia; kg vendido/kg producido.

– Ganadería: número de cabezas de ganado/familia.

2) Indicadores clave para personas que necesitan trabajar fuera del huerto

– Pertenencias de la familia: valor de las pertenencias productivas (tierra, maquinaria) y de las no productivas.

– Ingresos mensuales medios de toda la familia.

– Número de miembros activos/familia.

3) Indicadores clave para ambos grupos

– Seguridad económica, medida en términos de acceso a los productos básicos de la cesta de la compra en la situación específica: ingresos totales de la familia/coste total de la cesta de la compra.

– Seguridad alimentaria:

- número de comidas/persona/día
- número de artículos distintos de cada plato
- número de meses del año sin acceso a una dieta normal.

2 CÁLCULO DE INDICADORES ESPECÍFICOS PARA EL AGUA Y SANEAMIENTO

2.1 Cantidad de agua disponible y consumo de agua

INDICADOR 1: NÚMERO DE LITROS POR PERSONA Y DÍA.

– *Opción 1:* observación directa del consumo de agua, estimación del consumo por persona o familia:

- encuesta por hogares.
- verificación del agua recogida por una persona en el punto de agua (durante un día por ejemplo).

– *Opción 2:* disponibilidad de agua por cálculos teóricos: suma de la capacidad de suministro de todos los puntos de agua/población total. La capacidad de suministro depende de dos factores:

- capacidad del punto de agua (calculada mediante ensayos de rendimiento).
- capacidad de suministro del sistema de extracción.

Tipo de punto de agua y capacidad de suministro

– *Bombas manuales:* el rendimiento medio es de 1 m^3/h. y con 8 horas al día el rendimiento es de 8 m^3/día. Se puede calcular un rendimiento más preciso, llenando un bidón de 200 litros y estimando el rendimiento horario.

– *Bombas eléctricas:* el rendimiento horario dado por la curva característica de la bomba se puede multiplicar por un número estimado de horas por día. A veces, las bombas sumergidas se sobredimensionan respecto a las características del pozo, por lo que es importante verificar el rendimiento por medio de la observación directa (usando un bidón de 200 litros).

– *Bombas solares y de viento:* se sigue el mismo procedimiento que con las eléctricas, pero considerando las variaciones en las condiciones atmosféricas.

– *Manantiales:* se usan varios métodos empíricos para calcular el rendimiento de un manantial (ver Capítulo VII). El más corriente consiste en medir el tiempo necesario para llenar un volumen conocido y estimar el rendimiento horario. Hay que vigilar las variaciones estacionales.

– *Sistemas de distribución:* cálculo del volumen total bombeado (almacenado) por día.
– *Grifos:* un grifo de ¾" con una presión de 10 m, suministra 0,2 a 0,3 litros por segundo (lo mismo que un grifo Talbot con una presión de 5 m).
– *Camiones cisternas:* capacidad de la cisterna x número de viajes.

INDICADOR 2: NÚMERO DE PERSONAS POR TIPO DE PUNTO DE AGUA (COMO REFERENCIA PARA EL CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE AGUA DISPONIBLE POR PERSONA Y DÍA)

Estimación
– teórica: número de personas/número de puntos de agua (del mismo tipo).

Indicadores de referencia
– una bomba manual puede suministrar a 500 personas.
– un pozo puede suministrar a 400 personas
– un grifo puede suministrar a 250 personas.

INDICADOR 3: CANTIDAD DE AGUA DISPONIBLE EN SITIOS CONCRETOS (LITROS POR PERSONA Y DÍA)

Ver los indicadores de referencia en el Anexo 1.

2.2 Acceso al punto de agua

– Indicador 1: distancia de la casa al punto de agua.
– Indicador 2: tiempo necesario para llegar al punto de agua.
– Indicador 3: tiempo de espera.

INDICADORES DE REFERENCIA

– Distancia mínima: 500 metros (Sphere).
– Tiempo máximo necesario para llegar: ¼ h (en terreno difícil).
– Tiempo máximo de espera: 15 min (Sphere).

2.3 Calidad del agua

Ver Capítulo V.

INDICADOR 1: COLOR, OLOR Y SABOR. INDICADORES CUALITATIVOS

Observación directa complementada con una encuesta sanitaria.

INDICADOR 2: NÚMERO DE COLIFORMES FECALES/100 ML DE AGUA.

Indicador de referencia: 0 coliformes fecales/100 ml de agua. Muestreo y análisis bacteriológico con incubadora.

INDICADOR 3: PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS. (CON UN EQUIPO DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO ESPECÍFICO)

Los indicadores de referencia son las recomendaciones de la OMS para la calidad del agua potable. Es preciso analizar algunos parámetros específicos de interés para la salud cuando se detecta la evidencia siguiente:

- el parámetro de interés se ha detectado antes en la zona y es preocupante.
- la composición de las estructuras geológicas puede producir esta contaminación en el agua.
- ha ocurrido algún accidente que puede causar contaminación (derrame de pesticidas, abonos, …).
- se ha detectado una enfermedad relacionada con algún aspecto concreto de la calidad del agua.

Nota – Hay otras razones, sin relación con la salud, para realizar el análisis físico-químico: aceptación (ensayos), posible daño al sistema de distribución de agua (p.ej. las aguas saladas pueden acelerar la oxidación de los tubos de acero, y otro material será más indicado) etc. Por esta razón y si se dispone de tiempo y recursos, se recomienda incluir el análisis de otros parámetros (elementos principales y minerales tóxicos) para caracterizar los recursos de agua en la región.

INDICADOR 4: EFICACIA DE LA DESINFECCIÓN.

– cloro libre residual (mg/litro).
– turbidez (NTU).

2.4 Saneamiento e higiene

ELIMINACIÓN DE EXCREMENTOS

– Indicador 1: letrinas públicas: número de personas usando una letrina.
– Indicador 2: letrinas familiares: % de familias con letrinas.

INSTALACIONES HIGIÉNICAS

– Indicador 1: % de familias con duchas familiares y/o número de personas por ducha comunitaria
– Indicador 2: número de familias por lavadero.
– Indicador 3: recogida de basuras, número de familias por vertedero.
– Indicador 4: peso del jabón usado por persona y mes.
– Indicador 5: número y tamaño de los recipientes para agua por familia.

2.5 Gestión del Agua

– Indicador 1: % de puntos de agua en funcionamiento.
– Indicador 2: número de reparaciones hechas el año precedente.
– Indicador 3: % de puntos de agua con sistema de gestión en funcionamiento.
– Indicador 4: disponibilidad de repuestos en la zona.

Lista de control para la evaluacion inicial de las necesidades del proyecto “Esfera”

1	**General**	**677**	**4**	**Enfermedades transmitidas por vectores**	678
2	**Suministro de agua**	677	**5**	**Recogida de basuras (residuos sólidos)**	678
3	**Elimnación de excrementos**	678	**6**	**Desagüe**	679

Esta lista de preguntas se usa principalmente para evaluar las necesidades, identificar los recursos autóctonos y conocer las condiciones locales. No incluye preguntas para determinar los recursos externos necesarios adicionales a los disponibles localmente.

1 GENERAL

– ¿Cuántas personas están afectadas y donde están? Desglosar datos tanto como sea posible por edad, género, minusvalías, etc.

– ¿Cuáles serán los movimientos probables de las personas? ¿Cuáles son los factores de seguridad para las personas afectadas y para la evolución esperada de los problemas?

– ¿Cuáles son las enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento existentes o que amenazan con desarrollarse? ¿Cuál es la extensión de los problemas y su evolución previsible?

– ¿Quiénes son las personas clave a consultar o contactar?

– ¿Quiénes son las personas vulnerables entre la población y porqué?

– ¿Tiene todo el mundo igual acceso a las instalaciones existentes?

– ¿Cuáles son los riesgos específicos para las mujeres y las niñas?

– ¿A qué clase de prácticas sobre el uso de agua y saneamiento estaban acostumbradas las personas antes de la emergencia?

2 SUMINISTRO DE AGUA

– ¿Cuál es el punto de suministro de agua actual y quiénes son sus usuarios?

– ¿Cuánta agua hay disponible en términos de persona y día?

– ¿Cuál es la frecuencia diaria/semanal del suministro de agua?

– ¿La disponibilidad de agua en el punto de suministro cubre las necesidades a corto y largo plazo para todos los grupos de población?

– ¿Los puntos de recogida del agua están bastante cerca de las viviendas? ¿Son seguros?

– ¿Es fiable el suministro actual de agua? ¿Cuánto durará?

– ¿Tienen las personas bastantes contenedores de agua y del tamaño y tipo adecuados?

– ¿Está contaminado el punto de suministro del agua, o tiene riesgo de contaminación (microbiológica o química-radiológica)?

– ¿Se requiere tratamiento? ¿es posible? ¿Qué tratamiento es preciso?

– ¿Se requiere desinfección, aunque el suministro no esté contaminado?

– ¿Hay fuentes alternativas en las proximidades?

– ¿Qué creencias y prácticas tradicionales están relacionadas con la recogida, almacenamiento y uso del agua?

– ¿Hay algún obstáculo al uso de los suministros disponibles?
– ¿Es posible desplazar la población si los recursos de agua no son adecuados?
– ¿Es posible suministrar con camiones cisterna si los recursos de agua no son adecuados?
– ¿Cuáles son los temas higiénicos clave relacionados con el suministro de agua?
– ¿Tiene la gente los medios adecuados para usar el agua higiénicamente?

3 ELIMINACIÓN DE EXCREMENTOS

– ¿Cuáles son las costumbres normales de defecación? Si se hace al aire libre, ¿se ha designado un área concreta? ¿es segura?
– ¿Cuáles son las creencias y las prácticas normales, incluyendo las prácticas específicas de cada género, relacionadas con la recogida de excrementos?
– ¿Hay instalaciones disponibles? Si las hay, ¿se usan? ¿son suficientes y operan correctamente? ¿se pueden ampliar o adaptar?
– ¿Son las costumbres normales de defecación una amenaza a los suministros de agua (aguas superficiales o subterráneas) o a las zonas donde se vive?
– ¿Se lava la gente las manos tras la defecación y antes de cocinar o comer? ¿Hay disponibilidad de jabón u otros productos de limpieza?
– ¿Conocen las personas la construcción y el uso de las letrinas?
– ¿Qué materiales hay disponibles localmente para la construcción de letrinas?
– ¿Está la gente preparada para usar fosos de letrinas, campos de defecación, zanjas, etc.?
– ¿Cuál es la pendiente del terreno?
– ¿Cuál es el nivel freático del acuífero?
– ¿Son indicadas las condiciones del suelo para el vertido y enterramiento sobre el terreno de los excrementos?
– ¿Las disposiciones para la eliminacion o el tratamiento seguro de excrementos favorecen el desarrollo de vectores?
– ¿Hay materiales o agua disponibles para la limpieza anal? ¿Cómo se desechan estos materiales?
– ¿Cómo solventan las mujeres las cuestiones relacionadas con la menstruación? ¿Hay materiales o instalaciones disponibles al efecto?

4 ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES

– ¿Cuáles son las enfermedades transmitidas por los vectores? Y ¿Cuál es la peligrosidad de estos riesgos?
– ¿Cuáles son las creencias y prácticas tradicionales relacionadas con los vectores y las enfermedades que transmiten? ¿son útiles o perniciosas?
– ¿Si los riesgos de transmisión de enfermedades por vectores son elevados, tienen las personas acceso a medidas individuales de protección?
– ¿Es posible realizar cambios en el medio ambiente local (desagüe, eliminación de maleza, recogida de excrementos, vertido de basuras, etc.) para evitar que se desarrollen vectores?
– ¿Es preciso controlar los vectores con productos químicos? ¿Qué programas, regulaciones y recursos hay disponibles para el control de vectores con el uso de productos químicos?
– ¿Qué información y precauciones se deben suministrar a las familias?

5 RECOGIDA DE BASURAS (RESIDUOS SÓLIDOS)

– ¿Hay problemas con las basuras?
– ¿Qué hace la gente con las basuras? ¿Qué cantidad y tipo de basuras se generan?
– ¿La basura se puede eliminar o almacenar de modo seguro en las proximidades o se ha de recoger y verterla lejos?

– ¿Cuál es la práctica corriente del vertido de basuras de la población afectada? (fosos de compostaje/vertederos, sistema de recogida, basureros)
– ¿Hay instalaciones médicas y otras actividades que producen residuos sólidos? ¿Cómo se recogen? ¿Quién es el responsable?

6 DESAGÜE

– ¿Hay algún problema con el desagüe? (p.ej. inundación de las viviendas o de las letrinas, lugares de proliferación de vectores, agua sucia contaminando los sitios donde se vive o los suministros de agua).
– ¿Hay propensión al encharcamiento del suelo?
– ¿Tienen las personas los medios necesarios para proteger sus viviendas o letrinas de las inundaciones locales?

ANEXO 4

Ejemplo de descripción del puesto de jefe de proyecto

A :
Reclutamiento :
Responsable técnico :

Fecha : 18/03/08

De :

Descripción del Puesto

Título del puesto a cubrir : Jefe de Proyecto

Desde : 15 de abril 2008
Duración estimada: 4,5 meses

Misión: Perú

País : Perú

Base : Paracas (Departamento de Ica)

Financiamiento	Código presupuestario	Fecha inicio	Final	Presupuesto
AECI	PEJ1A	01/12/07	30/08/08[1]	246 945 €

Creación de puesto : No

Título del proyecto:	Localización
"Reducción del elevado riesgo de morbilidad causado por enfermedades vinculadas con el agua y la mala sanidad de 12 000 habitantes de los distritos de Huancano e Independencia	Departamento de Ica, Provincia de Pisco, Municipios de Independencia y Huancano

Objetivos del contratado

1. La duración del proyecto es de 7 meses, pero se prevé pedir una No Cost Extension a la AECI de dos meses al menos puesto que en la realidad las actividades de dicho proyecto han empezado el 1 de marzo del 2008.

Objetivo General: Coordinar y garantizar la correcta ejecución y alcance de los resultados y objetivo del proyecto "Reducción del elevado riesgo de morbilidad causado por enfermedades vinculadas con el agua y la mala sanidad de 12 000 habitantes de los distritos de Huancano e Independencia.

OBJETIVOS Y RESPONSABILIDADES

Gestión de proyecto

Preparar en coordinación con el Jefe de Misión y el Técnico de Agua y Saneamiento de la sede el plan operativo del proyecto.
Seguimiento del plan operativo.
Coordinar con los otros responsables de departamento (en particular logística y administración) todos los aspectos relativos a la ejecución del proyecto.
Redacción de informes mensuales de seguimiento internos (respectando el formato APR) y de los informes requeridos por el donante.

Implementar las actividades del proyecto de rehabilitación para la consecución de los resultados y objetivo fijados

Identificación de las obras a realizar, en el marco de los resultados esperados del proyecto, de la estrategia de la misión y del documento "Política de ACF-IN sobre Agua, Saneamiento e Higiene".
Seguimiento técnico de las obras: rehabilitación de redes de agua o sistema de desagüe.
Seguimiento presupuestario del proyecto, especialmente en lo que se refiere a las líneas presupuestarias técnicas.
Apoyo técnico en la elaboración de los planes de gestión y mantenimiento de las infraestructuras construidas.
Apoyo en la creación de los comités comunales y distritales, y formación de sus miembros.
Evaluación sistemática de la calidad, pertinencia e impacto a corto y largo plazo de las actividades implementadas.

Gestionar y coordinar el equipo local de ACF-E (aproximadamente 5 personas)

Definición de las descripciones de los puestos de trabajo del equipo local bajo supervisión directa y establecimiento de los objetivos por cada puesto.
Reclutamiento de nuevas personas si se necesita.
Apoyo al equipo local en la planificación semanal/mensual.
Seguimiento del trabajo del equipo local según los objetivos fijados y desempeño en el proyecto.
Apoyo al equipo local en la parte institucional del programa.
Realización de evaluaciones del equipo local bajo supervisión.

Relaciones Institucionales

Coordinación permanente con las autoridades locales y todas las contrapartes del proyecto.
Coordinación e intercambio de información con otras instituciones nacionales o internacionales (NNUU, ONGs) presentes en la zona.
Fomento de la buena relación con las autoridades provinciales y regionales.

Participar en una misión exploradora multisectorial

Realizar una misión exploratoria multisectorial en los departamentos más vulnerables (Huancavelica, Cusco, Apurimac, Cajamarca, Huanuco).
Elaborar un diagnostico de la situación de agua y saneamiento en las zonas más investigadas.
Definir la pertinencia de una intervención ACF-E en agua y saneamiento en las zonas investigadas.

Participación en la definición y/o revisión de los aspectos estratégicos de la misión

Participar activamente en las reuniones de coordinación de la misión para la revisión y/o avance de los aspectos estratégicos.
Definir intervenciones viables en el medio y largo plazo de acuerdo a la estrategia marco de la misión.
Identificación de contraparte locales.
Elaborar propuestas de proyectos de acuerdo con la visión estratégica de la misión.

Requisitos

Obligatorios
1. Formación:
Formación en ingeniería, hidrología, geología o técnico de agua.

2. Conocimiento y experiencia:
Experiencia laboral de trabajo con ONG en puesto de coordinación de equipo y en gestión de proyecto de AyS en terreno de un mínimo de 2 años
Conocimientos de trabajo comunitario y educación a la salud.
Experiencia de trabajo en contexto humanitario de post-emergencia valorada.
Experiencia en misiones exploratorias valorada.
Manejo del enfoque del Ciclo de proyecto (PCM).
Conocimiento informático (al menos MS OFFICE).

3. Características personales
Habilidades en gestión de equipo, coordinación y representación institucional.
Conocimiento en identificación de necesidades y en propuestas de proyecto apreciado.
Habilidades para realizar informes escritos y con los formatos correspondientes.
Movilidad, disponibilidad para desplazarse al terreno urgentemente en caso de emergencia, resistencia física y psicológica
Autonomía, creatividad, rigor, capacidad de organización, sentido de diplomacia, sentido de confidencialidad, trabajo en equipo.

Lenguajes

ESPAÑOL : SÍ indispensable

INGLÉS: preferible

Condiciones

Break: a partir de Junio 2008 cada 6 meses.
Alojamiento: casa oficina cómoda en la base de Paracas.
Medios de locomoción: diversos (coches, buses, acceso muy fácil a la zona de intervención).
No disponibilidad de Internet 24 horas.

NOTAS PARTICULARES

ANEXO 5

Enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento

1 Clasificación ambiental de las enfermedades relacionadas con el agua 685
2 Clasificación ambiental de las infecciones relacionadas con los excrementos 687
3 Lista de referencia general de las enfermedades relacionadas con el agua y los excrementos 688
4 Descripción somera de los tipos de enfermedades más corrientes relacionadas con el agua. Patología, ciclos de transmisión y de infección 692

1 CLASIFICACIÓN AMBIENTAL DE LAS ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL AGUA

Categoría	Infección	Agente patógeno
1) FECAL – ORAL (transmitidas o transportadas por el agua)		
	Diarreas y disenterías	
	– ameba de la disentería	Protozoo
	– balantidiasis	Protozoo
	– Campilobacter enteritis	Bacteria
	– Cólera	Bacteria
	– Cryptosporidiosis	Protozoo
	– E. coli diarrea	Bacteria
	– Girardiasis	Protozoo
	– Rotavirus diarrea	Virus
	– Salmonelosis	Bacteria
	– Sigelosis	Bacteria
	– Yersiniosis	Bacteria
	Fiebres enteríticas	
	– Tifoideas	Bacteria
	– Paratifoideas	Bacteria
	Poliomielitis	Virus
	Hepatitis A	Virus
	Leptospirosis	Espirocteta
	Acariasis	Helminto (gusano)
	Tricuriasis	Helminto
2) TRANSPORTADAS POR EL AGUA		
a) Infecciones de la piel y del ojo	Enfermedades infecciosas de la piel	Varios
	Enfermedades infecciosas del ojo	Varios
b) Otros	Tifus transmitido por piojos	Riketsia
	Fiebres recurrentes por piojos	Espirocteta

Categoría	Infección	Agente patógeno
3) BASADAS EN EL AGUA		
a) Penetran la piel	Esquistosomiasis	Helminto
b) Ingestión	Gusano de Guinea	Helminto
	Clonorciasis	Helminto
	Difilobotriasis	Helminto
	Paragonimiasis	Helminto
	Otros	Helminto
4) INSECTOS VECTORES RELACIONADOS CON EL AGUA		
a) Picadura cerca del agua	Enfermedad del sueño	Protozoo
b) Se crían en el agua	Filariasis	Helminto
	Malaria	Protozoo
	Ceguera del río	Helminto
	Virus transmitidos por mosquitos	
	– Fiebre amarilla	Virus
	– Dengue	Virus
	– Otros	Virus

2 CLASIFICACIÓN AMBIENTAL DE LAS INFECCIONES RELACIONADAS CON LOS EXCREMENTOS

Categoría	Infección	Agente patógeno	Mecanismo dominante de transmisión	Medidas de control más importantes (acciones de ingeniería en cursiva)
1) Fecal-oral no bacteriana (no latente, dosis de infección baja)	Poliomielitis Hepatitis A Rotavirus diarrea Disentería amebiana Giardiasis Balantidiasis Enterobiasis Himenolepsiasis	Virus Virus Virus Protozoo Protozoo Protozoo Helminto Helminto	Contacto persona a persona Contaminación doméstica	*Suministro doméstico de agua* *Mejora del alojamiento* *Construcción de letrinas* Educación en la salud antes de regeneración o vertido
2) Fecal-oral Bacteriana No latente Dosis infecciosa media o alta Moderadamente persistente y capaz de multiplicarse	Diarreas y disenterías Enteritis *Campilobacter* Cólera Diarrea E. Coli Salmonelosis Sigelosis Yersiniosis Fiebres enteríticas – Tifoideas – Paratifoideas	 Bacteria Bacteria Bacteria Bacteria Bacteria Bacteria Bacteria Bacteria	Contacto persona a persona Contaminación doméstica Id. Contaminación de la cosecha	*Suministro doméstico de agua* *Mejora del alojamiento* *Construcción de letrinas* *Tratamiento de excrementos* Educación en la salud
3) Helmintos transmitidos por el suelo Latentes y persistentes sin sistentes huésped intermedio	Ascariasis (redondos) Tricuriasis (látigo) Gusanos (gancho) Estrogiloidiasis	Helminto Helminto Helminto Helminto	Contaminación del suelo Contaminación del suelo en áreas de defecación comunitarias Contaminación de cosechas	*Hacer letrinas con suelos limpios* *Tratamiento de excrementos antes de usarlos en los campos*
4) Tenias en cerdos y bueyes Latente y persistente. Cerdos y bueyes son los huéspedes intermedios	Tricosoma (tenia)	Helminto	Contaminación de suelos Contaminación de los campos Contaminación de los piensos	*Construir letrinas* *Tratamiento de excrementos antes de su uso en el campo* Inspección de la carne y de la cocina
5) Helmintos basados en agua (latente y persistente con huéspedes intermedios acuáticos)	Esquistosomiasis Clonorquiasis Difilobotriasis Fasciolopsiasis Paragonimiasis	Helminto Helminto Helminto Helminto Helminto	Contaminación del agua	*Construir letrinas* *Tratamiento de excrementos antes de usarlos en el campo* *Control de animales infectados* *Cocinar largo tiempo*
6) Insectos vectores relacionados con excrementos	Filariasis (transmitida por mosquitos *Culex pipiens* Infecciones de categoría 1-4, especialmente 1 y 2, que pueden transmitirse por moscas y cucarachas	Helminto Varios	Se crían insectos en varios sitios contaminados con heces	*Identificación y eliminación de los sitios donde se crían* Usar redes mosquiteras

3 LISTA DE REFERENCIA GENERAL DE LAS ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL AGUA Y LOS EXCREMENTOS

Enfermedad	Nombre común	Patógeno	Transmisión	Distribución	Categoría relacionada con	
					el agua*	los excrementos**
ENFERMEDADES BACTERIANAS						
Enteritis bacteriana	Diarrea, gastroenteritis	*Campilobacter jején.Esquericia coli. Salmonera* spp *Yersinia enterocolitica*	Fecal-oral, hombre a hombre o animal-hombre	Mundial, es particularmente seria y común en los niños	1	2
Sigelosis	Disentería bacilar	*Sigela* spp.	Fecal-oral, hombre a hombre	Mundial	1	2
Cólera	Cólera	*Vibrio colerae*	Fecal-oral, hombre a hombre	Mundial	1	2
Paratifus	Paratifus	*Salmonera Paratifi*	Fecal-oral, hombre a hombre	Mundial	1	2
Fiebre tifoidea o enterítica	Tifus	*Salmonela tifi*	Fecal-oral, hombre a hombre	Mundial	1	2
ENFERMEDADES DE ESPIROCTETAS						
Leptospirosis	Enferme-dad de Weil	*Leptospira* spp.	Segregada por animales (especialmente roedores) en la orina, infectando las personas por la piel, boca o los ojos, animal-hombre.	Mundial	1	–
Fiebre recurrente de los piojos		*Borrelia recurrentes*	Transmitida por piojos, hombre-piojo-hombre.	Mundial, pero principalmente en regiones monta-ñosas pobres de África	2b	–

Enfermedad	Nombre común	Patógeno	Transmisión	Distribución	Categoría relacionada con	
					el agua*	los excrementos**
ENFERMEDADES VÍRICAS						
1) Virus en secreciones						
Hepatitis A	Hepatitis infecciosa (piel amarilla)	Virus de hepatitis A	Fecal-oral, hombre a hombre	Mundial	1	1
Poliomielitis	Polio	Poliovirus	Fecal-oral, hombre a hombre	Mundial	1	1
Diarrea viral	Diarrea	Rotavirus,	Fecal-oral, agente Norwalk, otros virus	Mundial hombre a hombre	1	1
2) Virus transmitidos por mosquitos						
Dengue	Dengue	Virus del dengue	Transmitida por el mosquito *Edes Egipto* y otros Edes +, *Hemagogus* spp., hombre-mosquito-hombre	El dengue es casi mundial ahora. Una forma nueva (fiebre hemorrágica dengue) ocurre en ciudades del SE de Asia.	4b	–
Fiebre amarilla		Virus de la fiebre amarilla	Transmitida por *Edes Egipti* y otros *Edes* y *Hemagogus* spp. Hombre o mono mosquito-hombre	Sin notificar en Asia ni Australasia	4b	–
Otras enfermedades arbovíricas		Gran número de virus causantes de infecciones encefalíticas y hemorrágicas	Principalmente infecciones animales transmitidas por artrópodos. El hombre se infecta accidentalmente por picaduras de mosquitos (principalmente), garrapatas, tábanos y mosquitos pequeños	Mundial	4b	–
ENFERMEDADES DEBIDAS A LOS RICKETTSIAS						
Tifus transmitido por piojos	Tifus clásico o epidémico	*Rickettsia prowazeki*	Transmitido por piojos, hombre-piojo-hombre	Mundial, pero especialmente en partes monta-ñosas pobres de África, Asia y Latinoamérica.	2b	–

Enfermedad	Nombre común	Patógeno	Transmisión	Distribución	Categoría relacionada con	
					el agua*	los excrementos**
ENFERMEDADES DEBIDAS A LOS PROTOZOOS						
1) Protozoos en excrementos						
Amebiasis	Disentería amébica	*Entameba histolítica*	Fecal-oral, hombre a hombre	Mundial	1	1
Balantidiasis	Diarrea	*Balantidium coli*	Fecal-oral, hombre o cerdo-hombre	Mundial	1	1
Critosporidosis	Diarrea	*Critosporidium* spp.	Fecal-oral, hombre o animal-hombre	Mundial	1	1
Giardiasis	Diarrea	*Giardia lamblia*	Fecal-oral, hombre-hombre	Mundial	1	1
2) Protozoos transportados por vectores						
Malaria	Paludismo	*Plasmodium* spp	Transmitida por el mosquito *Anófeles* hombre-mosquito- hombre	En gran parte de las áreas cálidas del globo, aunque se ha erradicado en algunos sitios.	4b	–
Tripanosomiasis (africana)	Enfermedad del sueño de Ghana	*Tripanosoma gambiense*	Transmitida por la mosca tse-tse de los ríos (*Glosina*) hombre-mosca- hombre	África Central y del Oeste principalmente	4a	–
	Enfermedad del sueño	*Tripanosoma rodesiense*	Transmitida por la mosca tse-tse de la (*Glosina* spp.) caza mayor o ganado-mosca-hombre	África del Este principalmente	(sin relación con el agua, incluida para dar una imagen completa)	
Tripanosomiasis (americana)	Enfermedad de Chaga	*Tripanosoma cruzi*	Transmitida por bichos (Redivide) hombre o animal-bicho-hombre	Latinoamérica	Relacionada con la vivienda	

Enfermedad	Nombre común	Patógeno	Transmisión	Distribución	Categoría relacionada con	
					el agua*	los excrementos**
ENFERMEDADES HELMÍNTICAS						
1) Helmintos en los excrementos						
Ascariasis	Gusano	*Ascaris lumbricoides*	Hombre-suelo-hombre	Mundial	-	3
Clonorquiasis		*Clonorquis sinensis*	Animal u hombre -caracol acuático-pez-hombre	SE Asia	3b	5
Difilobotriasis	Tenia del pez	*Difilobotrium latum*	Hombre o animal copépodo-pez-hombre	Mundial	3b	5
Enterobiasis		*Enterobius vermicularis*	Hombre a hombre	Mundial	1	1
Fasciolopsiasis		*Fasciolopsis buski*	Hombre o cerdo-caracol de agua-planta de agua-hombre	SE Asia, China principalmente	3b	5
Himenolepsiasis	Tenia Enana	*Hymenolepsis nana*	Hombre o roedor-hombre	Mundial	1	1
Gusano ancla		*Anciostoma duodenale, Necator americanus*	Hombre-suelo hombre	En climas cálidos y húmedos	–	3
Ofistorquiasis		*Ofistorquis felineus, O. viverrini*	Gato u hombre caracol de agua-pez-hombre	Tailandia, antigua Unión Soviética	3b	5
Paragonimiasis		*Paragonimus westermani*	Cerdo. hombre, perro, gato o animal-caracol de agua-cangrejo hombre	Asia Oriental y focos aislados de África y Sud-américa.	3b	5
Esquistosomiasis	Tenia o Gusano	*Esquistosoma hematobium* *E. mansoni*	Hombre-caracol de agua-hombre “	África, Oriente Medio e India África, Oriente Medio, Latinoamérica	3a	5
		E. japonicum	Animal u hombre caracol-hombre	SE Asia		
Estrongiloidiasis		*Estrongiloides esterocoralis*	Hombre-suelo-hombre	Principalmente en climas cálidos y húmedos	–	3
Teniasis		*Tenia saginata* solitaria *Tricuris*	Hombre-vaca o cerdo-hombre	Mundial	–	4
Tricuriasis		*Triquiura Tenia solium*	Hombre-suelo-hombre	Mundial	–	3
2) Gusano de Guinea						
Dracunculasis (dracontiasis)	Gusano de Guinea	*Dracunculus medinensis*	Hombre-ciclops-hombre	África, India	3b	-

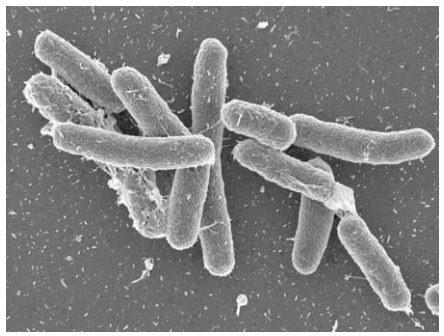
Enfermedad	Nombre común	Patógeno	Transmisión	Distribución	Categoría relacionada con	
					el agua*	los excrementos**
3) Helmintos transportados por mosquitos						
Filariasis	Puede dar elefantiasis	*Wuquereria bancrofti*	Mosquitos: *culex pipiens, anofeles spp. y Edes* spp. hombre-mosquito-hombre	Mundial	4b	6
Filariasis Malaya	"	*Brugiam malayi*	Mosquitos: *Mansonia, Anofeles y Edes* hombre-mosquito-hombre	India y SE Asia	4b	–
Loiasis		*Loa loa*	Mosca del manglar *Crisops* spp. Hombre-mosca-hombre	África Central y Oriental	4b	–
Oncocerciasis	Ceguera del río	*Oncocerca volvulus*	Mosca negra (*Simulium* spp) Hombre-mosca-hombre.	Latinoamérica, África y Yemen	4b	–

* Relativo al Anexo 5 Tabla 1
** Relativo al Anexo 5 Tabla 2

4 DESCRIPCIÓN SOMERA DE LOS TIPOS DE ENFERMEDADES MÁS CORRIENTES RELACIONADAS CON EL AGUA. PATOLOGÍA, CICLOS DE TRANSMISIÓN Y DE INFECCIÓN

ENFERMEDADES BACTERIANAS

Aparte del Cólera, objeto del Capítulo XXII de este Manual, otras enfermedades relacionadas con el agua y producidas por bacterias son la Salmonela, la Shigelosis, y el Botulismo.



La Salmonela está causada por varias especies de género *Salmonella*, la cual predomina en los meses calientes. Esta bacteria prolifera en el intestino delgado, donde penetra rápidamente a través de la mucosa. Se introduce en los macrófagos, donde se multiplica y por medio de los macrófagos es transportada hasta el hígado y otros órganos del retículo endotelial. Esta diseminación produce en el organismo malestar abdominal, fiebre prolongada con bacteriemia que se mantiene hasta el final de la enfermedad. También pueden producirse complicaciones como perforaciones intestinales que pueden producir la muerte. La salmonelosis se transmite por la vía fecal-oral o por contaminación hídrica de alimentos.

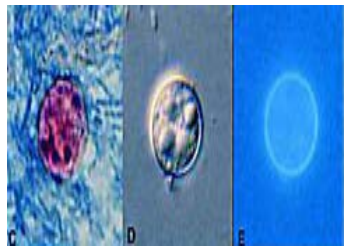
La Shigelosis está originada por bacterias pertenecientes al género *Shigella*. La dosis mínima para contagiar esta enfermedad es muy pequeña. Se desarrolla al invadir la bacteria las células epiteliales intestinales y multiplicarse dentro de ellas, causándoles la muerte. De esta forma se propagan por contigüidad, infectando y matando las células epiteliales adyacentes. Este mecanismo de acción causa en el ser humano disentería, frecuentemente con mucosidad y sangre, diarreas, dolor abdominal, náuseas, vómitos y fiebre. Esta enfermedad puede transmitirse de persona a persona, pero principalmente se transmitirá al consumir alimentos o agua contaminados, debido a precarias condiciones higiénicas y al mal estado del sistema de abastecimiento de agua.

El Botulismo está ocasionado por la bacteria *Clostridium botulinum*. Esta bacteria segrega una toxina, que bloquea la liberación de una sustancia llamada acetilcolina en las terminaciones nerviosas, originando síntomas neurotóxicos como visión doble, dificultad para tragar, dificultad al hablar, y parálisis progresiva del sistema respiratorio. También provoca síntomas abdominales como náuseas, vómitos y diarreas. El botulismo se produce por consumir verduras frescas contaminadas por las esporas de *C. botulinum* o consumir aguas no tratadas.

ENFERMEDADES VÍRICAS

El agua también es un buen portador de virus, produciendo enfermedades como la Hepatitis A, o las gastroenteritis virales.

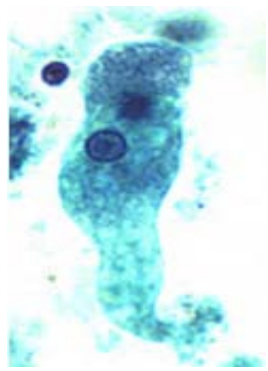
La Hepatitis A está producida por el virus de la hepatitis A, que afecta al hígado. Produce en el hombre fiebre, molestias abdominales o ictericia. La hepatitis A se propaga por contacto personal con una persona que tenga la enfermedad, por ejemplo comer alimentos preparados por alguien con hepatitis A, o por beber agua contaminada por la hepatitis A, siendo esto último debido a las condiciones sanitarias.



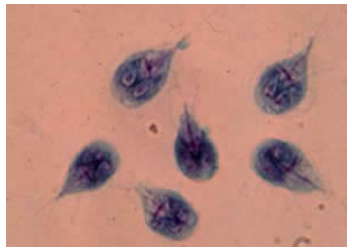
Las gastroenteritis virales en los humanos están causadas por Rotavirus. Los virus del grupo A son los que producen infecciones habituales en el ser humano y constituyen causas importantes de diarrea del lactante. La enfermedad es más corriente durante los meses más fríos del año en los climas templados. La variación estacional en los climas tropicales es menos pronunciada. Las manifestaciones clínicas son fiebre, vómitos y diarrea sin sangre. En los casos graves puede haber deshidratación considerable y acidosis. La mortalidad por deshidratación, aunque poco frecuente en muchos sitios, lo es en los países en vías de desarrollo. La infección también puede estar acompañada por síntomas respiratorios, como tos y resfriado. Esta enfermedad se transmite por consumir agua contaminada, o por no desinfectar adecuadamente el agua potable.

ENFERMEDADES PROVOCADAS POR PROTOZOOS

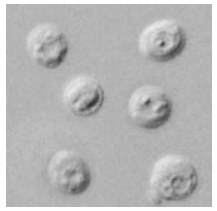
El grupo de los protozoos ocasionan las Amebiasis, las Cristosporidiasis, las Ciclosporosis y la Giardiasis.



La Amebiasis es una enfermedad causada por un parásito llamado *Entamoeba histolítica*. Este parásito puede mantenerse confinado en el lumen intestinal produciendo una infección no invasiva, con lo que los individuos se convierten en portadores asintomáticos, eliminando sus quistes por las heces. En otros pacientes los parásitos invaden la mucosa intestinal pasando al torrente sanguíneo, y originando una infección fuera de los intestinos, en el hígado, cerebro o pulmones. Los síntomas más corrientes pueden ser: disentería, colitis, apendicitis, megacolon tóxico, o amebomas, si es una infección no invasiva o producir absceso hepático, peritonitis, o absceso pleuropulmonar, si es una infección invasiva. La infección se adquiere por la vía fecal-oral, por el contacto de persona a persona, o por tomar agua con contaminación fecal.



La Giardiasis está causada por un protozoo flagelado llamado *Giardia lambria*. Cuando este protozoo es ingerido, forma unas densas capas en el intestino delgado impidiendo la absorción de los nutrientes. Comúnmente, en humanos causa gastroenteritis, al igual que pérdida del apetito, fiebre, apatía, diarrea y calambres estomacales. La giardiasis es transmitida vía fecal-oral, por el contacto entre personas y por consumir agua y alimentos contaminados.



La Criptosporidiasis está originada por el protozoo *Cryptosporidium parvum*. El hombre puede infectarse por ingestión o por inhalación, la enfermedad se desarrolla en el intestino delgado. La diarrea acuosa es el síntoma más frecuente pudiendo estar acompañada de deshidratación, pérdida de peso, dolor abdominal, fiebre, nauseas y vómito. La transmisión de *Cryptosporidium parvum* se da principalmente por contacto con agua contaminada (p.ej.: agua potable, riego de jardines,…)

La Ciclosporosis está causada por *Cyclospora cayetanensis*, un protozoo cuyos quistes no contagian cuando salen por las heces, sino que necesitan unas condiciones ambientales determinadas para ser contagiosos. Por esta razón no existe transmisión directa fecal-oral. Este protozoo invaden las células epiteliales del intestino delgado, donde desarrolla parte de su ciclo. La infección se manifiesta con diarrea acuosa, que puede ser severa. Otros síntomas incluyen anorexia, pérdida de peso, nausea, vómito, mialgia, febrícula y fatiga. La vía de transmisión es a través de productos agrícolas frescos y por el agua contaminada.

ENFERMEDADES PRODUCIDAS POR NEMATODOS

Los nematodos presentes en el agua producen Dracunculosis, Ascariosis y Enterobiosis.

La Dracunculosis, también conocida como enfermedad del gusano de Guinea, está causada por el parásito *Dracanculus medinensis*. Las larvas penetran en el estómago y la pared intestinal hasta la cavidad abdominal y el espacio retro-peritoneal. Los adultos migran al tejido subcutáneo, hacia la superficie de la piel. Aproximadamente un año después de la infección, la hembra produce una llaga en la piel. Cuando la lesión entra en contacto con el agua, la hembra emerge y libera a las larvas que son ingeridas por el copépodo. Las manifestaciones clínicas son localizadas formando una ampolla dolorosa, que normalmente conduce a infecciones secundarias cuando se rompe. Los humanos se infectan al ingerir agua contaminada sin filtrar que contenga copépodos, pequeños crustáceos que estén infectados con las larvas de *D. medinensis*.

La Ascariosis está causada por el nematodo más grande que puede habitar en el intestino humano, el *Ascaris lumbricoides*. Los gusanos adultos viven en el lumen del intestino delgado. Una hembra puede producir aproximadamente 200.000 huevos por día, que se vierten al exterior por las heces. Los huevos expulsados en las heces necesitan determinadas condiciones ambientales para contagiar. Una carga parasitaria grande puede ocasionar dolor abdominal y obstrucción intestinal. La vía de transmisión es por el consumo de agua contaminada con huevos de *áscaris*.

La Enterobiosis está producida por el nematodo *Enterobius vermicularis*. El síntoma típico es el prurito anal La transmisión de persona a persona puede tener lugar al manipular ropa de vestir o de cama contaminada. La enterobiosis puede contagiarse también a través de superficies contaminadas por los huevos de oxiuridos. Un número reducido de huevos pueden ser inhalados y deglutidos para desarrollarse igual que los huevos ingeridos.

ENFERMEDADES PRODUCIDAS POR TREMATODOS

Las enfermedades producidas por los trematodos son Esquistosomiasis, y Fasciolosis.

La Esquistosomiasis está causada por trematodos sanguíneos del género *Schistosoma*. Los gusanos adultos residen en determinadas vénulas mesentéricas de los humanos. Los huevos se mueven progresivamente hacia el lumen del intestino y hacia la vejiga y los uréteres y son eliminados por las heces y orina respectivamente. Las manifestaciones clínicas son fiebre Katayama, granulomas perisinusoidales hepáticos por los huevos, hipertensión portal y ocasionalmente embolias cerebrales o en la médula espinal causada por los granulomas de huevos. Es necesario que el humano entre en contacto con el agua para infectarse por *schistosoma*.

La Fasciolosis está causada por trematodos del género *Fasciola*. Este parásito eclosiona en el duodeno y migra a través de la pared intestinal, hacia la cavidad peritoneal y al parénquima hepático, en donde se desarrollan en adultos, causando dolor abdominal, hepatomegalia, fiebre, vómito, diarrea, urticaria y eosinofilia, pudiendo durar varios meses. Los humanos se infectan al ingerir un determinado estadio larvario de este parásito que se encuentran en plantas de agua dulce, como los berros.

ENFERMEDADES TRANSMITIDAS DE FORMA INDIRECTA

Existe un gran número de parásitos que se transmiten por vectores. Un vector es un organismo que no causa enfermedades por sí sólo, pero propaga infecciones debido a que transmite patógenos de un huésped a otro. Hay dos tipos de vectores, mecánicos y biológicos, que transfieren organismos infecciosos a los huéspedes. Los vectores mecánicos son los que transfieren patógenos que no llevan a cabo ninguna fase de su ciclo biológico en el vector, mientras que los vectores biológicos transfieren patógenos que han de realizar alguna fase de su ciclo biológico en el vector antes de ser transmitidos al huésped receptor.

Las especies de vectores más frecuentes son los mosquitos y las moscas.

En muchas partes del mundo, los mosquitos son el principal problema para la salud, pueden transmitir enfermedades anualmente a más de 69 millones de personas. Los mosquitos se alimentan principalmente de néctar y sólo las hembras necesitan sangre como alimento. Las larvas se encuentran en charcos o en recipientes con agua y se alimentan de materia orgánica. El calentamiento global, probablemente, incremente el número de mosquitos en algunos países y, como consecuencia, se origine un aumento de las enfermedades que transmiten, como son la Malaria, Filariasis, Fiebre Amarilla, Dengue, etc.

El mosquito del género *Anofeles* transmite el parásito de la Malaria, *Plasmodium* spp. En todo el mundo, la Malaria es la principal causa de mortalidad de niños de menos de 5 años, causando anualmente alrededor de 5,3 millones de muertos, según el "Center for Disease Control".

Muchas especies de mosquitos, del género *Culex pipiens* pueden transmitir gusanos que causan Filariasis. Esta enfermedad produce desfiguraciones caracterizadas por la hinchazón (elefantiasis) de algunas partes del cuerpo humano.

El virus que produce la Fiebre Amarilla se transmite por un mosquito del género *Aedes*, que se encuentra principalmente en las zonas tropicales y subtropicales del planeta.

El Dengue o Fiebre Hemorrágica del Dengue se transmite por mosquitos del género *Aedes*.

ANEXO 6

Hidrología

1 Caudales 697
1.1 Tipos de flujo 697
1.1.1 Flujo a presión 697
1.1.2 Circulación de un líquido en un medio poroso 698
1.2 Tipos de energía 698
1.2.1 Flujo a presión 698
1.2.2 Medio poroso 698
1.3 Teorema de Bernoulli 699
1.4 La ecuación de continuidad 699
2 Balance hidrológico simplificado 699
2.1 Cálculos basados en las aportaciones de agua 699
2.1.1 Estimación del caudal total 699
2.1.1.1 Agua de lluvia – temperatura 699
2.1.1.2 Evapotranspiración 700
2.1.2 Estimación de las aportaciones 703
2.1.2.1 Aportaciones 703
2.1.2.2 Precipitación útil 703
2.1.3 Variaciones de las existencias 704
2.1.4 Estimación de la recarga 704
2.2 Cálculos basados en los caudales obtenidos 705
2.2.1 Estimación de las salidas 705
2.2.1.1 Extracciones 705
2.2.1.2 Manantiales y ríos 705
2.2.1.3 Otras salidas 705
2.2.2 Variaciones de las existencias 705
2.2.3 Estimación de la recarga 705
3 Datos meteorológicos del mundo 706
3.1 Temperaturas en enero (ºC) 706
3.2 Temperaturas en julio (ºC) 706
3.3 Precipitación media anual (mm) 706
3.4 Radiación solar sobre una superficie horizontal (ºC) 707

1 CAUDALES

1.1 Tipos de flujo

Si un líquido en movimiento (caudal, flujo) está en contacto con la atmósfera, se dice que el flujo tiene una superficie libre, como en el caso de un canal abierto (acequia) de riego, por ejemplo. Si el flujo tiene lugar por el interior de una tubería, ocupando toda la sección de paso y a una presión superior a la atmosférica, se dice entonces que el flujo es a presión. Este es el caso de los sistemas de distribución de agua. Si el líquido fluye a través de un material poroso, se considera que hay un flujo en un entorno poroso.

Si las características del flujo en cada punto no varían con el tiempo, se dice que es un régimen uniforme. De lo contrario, el régimen se llama variable o transitorio.

Cuando las partículas del líquido describen una trayectoria bien definida, y se mueven únicamente en la dirección del flujo (líneas de flujo paralelas), este se denomina laminar. Cuando algunas partículas del líquido se mueven agitadamente con componentes de velocidad transversales a la dirección principal, el flujo se denomina turbulento.

1.1.1 FLUJO A PRESIÓN

La turbulencia está causada básicamente por la viscosidad y la define el número de Reynolds (R_e) como sigue:

$$R_e = V \cdot D / \nu$$

en la que V es la velocidad característica del agua (m/s), D es el diámetro del tubo (m) y ν es la viscosidad cinemática del agua (m^2/s).

Según Cartier:

si $R_e < 2000$ el régimen es laminar,
si $R_e > 2000$ el régimen es turbulento.

La transición entre los dos regímenes no es completamente clara, y se da a menudo lo que se llama "zona de transición". A todos los efectos, y para los sistemas de distribución de agua, el régimen es siempre turbulento.

1.1.2 CIRCULACIÓN DE UN LÍQUIDO EN UN MEDIO POROSO

Para definir el flujo en un medio poroso, el número de Reynolds se expresa como sigue:

$$R_e = V \cdot d / \nu$$

en el que R_e es el número de Reynolds (adimensional), V es la velocidad de filtración (Darcy) en m/s, d es el diámetro característico del grano, bien d_{10} (De Marsily) o d_{50} (Lencastre) en m y ν la viscosidad cinemática del agua en m^2/s.

Según De Marsily, el flujo en un medio poroso se considera laminar si $R_e < 10$. Por tanto si el $R_e > 100$ el flujo es claramente turbulento (y la ley de Darcy no aplica). A nuestros efectos el flujo solo es turbulento en entornos cársticos o en las inmediaciones de un pozo dotado de bomba. De Marsily ha propuesto una fórmula empírica para estimar el tránsito de un régimen laminar a otro turbulento usando el gradiente hidráulico. Define los límites del gradiente como $i = 1/15\ (K)^{1/2.}$

Para calcular R_e, los valores de la viscosidad cinemática del agua en función de la temperatura son:

T (ºC)	5	10	15	20	30
$\nu \cdot 10^6$ (m^2/s)	1,52	1,31	1,14	1,0006	0,8

1.2 Tipos de energía

La energía se define como el producto de la fuerza por el desplazamiento. En hidráulica, la energía se refiere a la unidad de peso y se designa como unidad de carga o altura; de hecho tiene las dimensiones de una longitud (energía $m^2 \cdot kg^{-2}$/peso $m \cdot kg \cdot s^{-2} = m$).

Una partícula de agua desplazándose a una velocidad V, sujeta a una presión p y situada en una altura z sobre un plano horizontal de referencia, tiene la siguiente energía (Lencastre):

- energía potencial: $E_z = z$
- energía debida a la presión: $E_p = p/\omega$
- energía cinética: $E_k = V^2/2g$

en la que p es la presión relativa (relativa a la atmosférica), ω es el peso específico del agua, z es la altura de la partícula de agua en relación a una línea de referencia, V es la velocidad y g la aceleración de la gravedad.

Así, la energía total o carga total es:

$$E = z + p/\omega + V^2/2g$$

1.2.1 FLUJO A PRESIÓN

Este tipo de energía se representa generalmente de forma gráfica.

1.2.2 MEDIO POROSO

En un medio poroso los flujos se mueven generalmente con mucha lentitud. Se considera, por tanto, que la carga dinámica $E_k = V^2/2g$ es despreciable. Por ejemplo, una velocidad de 1 cm/s, que sería un flujo subterráneo bastante rápido, da una carga dinámica de $E_k = 1/1\,962 = 5$ micras.

Por tanto la carga total se convierte en $E = z + p/\omega$ y se llama carga estática o piezométrica (Figura 1).

1.3 Teorema de Bernoulli

El teorema de Bernoulli es el resultado directo del principio de conservación de la energía en un régimen constante, para un fluido incompresible:

$$E = z + p/\omega + v^2/2g = \text{constante}$$

Este principio produce una línea horizontal de energía a caudal cero y explica por qué la línea de energía disminuye cuando hay un flujo. Si se tienen en cuenta las pérdidas de carga (J), se puede escribir lo siguiente:

$$E + J = \text{constante}$$

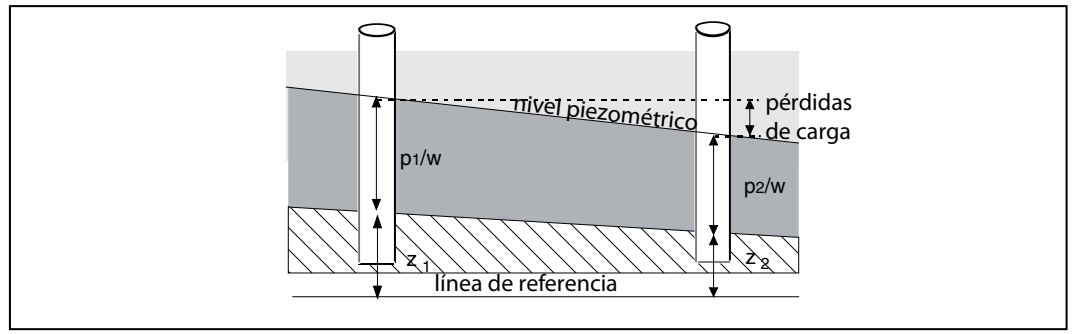


Figura 1: Flujo en un medio poroso.

Las pérdidas de carga se corresponden con la diferencia entre las líneas de energía estática y dinámica.

1.4 La ecuación de continuidad

En un tubo cilíndrico, el caudal Q es: $Q = V \cdot S = V \cdot \pi \cdot D^2/4$, en la que Q es el caudal (m^3/s), V es la velocidad (m/s), S el área de paso del tubo (m^2) y D el diámetro interior del tubo (m).

La ecuación de continuidad representa el principio físico de conservación de la masa y se puede escribir simplificadamente: $Q = V_1 \cdot S_1 = V_2 \cdot S_2$

En otras palabras, el caudal de entrada a un tubo es igual al de la salida, cualesquiera que sean los cambios de diámetro o velocidad.

2 BALANCE HIDROLÓGICO SIMPLIFICADO

2.1 Cálculos basados en las aportaciones de agua

El procedimiento es como sigue:

- Calculo del caudal total: el caudal total (E) que corresponde al flujo superficial (escorrentía) mas el caudal subterráneo se calcula de datos de pluviometría;
- Estimación de los aportes ($P_u + I_s$): se estima la precipitación útil (P_u) de las proporciones de la escorrentía junto con las infiltraciones del caudal total. La infiltración subterránea (I_s) se mide;
- Estimación de los cambios de almacenamiento (Δs);
- Evaluación de la recarga a partir del balance de los términos descritos anteriormente.

2.1.1 ESTIMACIÓN DEL CAUDAL TOTAL

El caudal total (E) es una fracción de la precipitación. Parte de la precipitación se evapora o se consume por las plantas y la otra parte es flujo superficial o subterráneo.

2.1.1.1 AGUA DE LLUVIA – TEMPERATURA

Se recomienda recoger todos los datos disponibles sobre la pluviometría y/o instalar pluviómetros o pluviógrafos.

La densidad de pluviómetros se decide en función de los objetivos y las condiciones ambientales. En una zona climática dada, la pluviosidad depende de varios factores: altitud, orientación de la vertiente montañosa, distancia al mar, etc. En un área restringida y relativamente homogénea, tal como un campamento de refugiados, uno o dos pluviómetros serán suficientes. A nivel de distrito, la red de pluviómetros ha de ser más extensa para reflejar las diferencias ambientales.

Los resúmenes de temperaturas se realizan con termómetros de mínima y máxima. La temperatura media se calcula diariamente. Estos resúmenes se registran en una hoja de medidas preparada para este propósito.

La secuencia de medidas debe realizarse a lo largo de un período de tiempo tan extenso como sea posible, idealmente debería ser de varios años. La red de pluviómetros debe instalarse tan pronto como sea factible de todos modos, porque aunque no haya perspectivas de instalar una red permanente de pluviómetros al principio del programa, algunos proyectos de ACF para pozos abiertos y perforados se suelen extender por 3 ó 4 años.

Las estaciones automáticas de registro para recoger datos de lluvia y temperatura se instalan para facilitar los registros (ACF Somalia, 1998).

Se asigna entonces una representatividad a cada estación automática de registro. Los métodos más corrientes son:

– media aritmética, la más imprecisa pero también la más sencilla;

– método Thiessen (balances por área), utilizable en áreas planas (Cuadro 1);

– método de las isoyetas (la variación lineal es proporcional a la distancia, más exacto para territorios ondulados y montañosos (Cuadro 1)).

La precipitación total así estimada alimenta la evapotranspiración y el flujo superficial.

2.1.1.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración es la fracción de agua evaporada directamente más la que absorben las plantas. Hay un gran número de factores que tienen influencia sobre este parámetro: temperatura, viento, humedad, cubierta vegetal, radiación solar, etc.

Hay varios métodos de cálculo de la evapotranspiración, pero en los programas de ACF sólo se usan estimaciones a partir de fórmulas empíricas.

El período de tiempo usado para el cálculo ha de ser lo más corto posible para no promediar excesivamente las variaciones: se usan períodos de 10 a 30 días como mucho, pero pueden usarse fórmulas basadas en datos anuales para establecer órdenes de magnitud.

Cuadro 1.
Interpretación de datos puntuales.

Método Thiessen

Este método se usa generalmente para datos de precipitaciones de lluvia. Se supone que el área representada por cada pluviómetro se extiende hasta la mitad de la distancia al próximo pluviómetro. En esta área, la lluvia es uniforme e igual a la registrada por el pluviómetro concreto.

La geometría de las distintas zonas se determina por la equidistancia. Se conectan por segmentos los pluviómetros adyacentes y se trazan las medianas. Los puntos en que se cortan estas medianas son los vértices de un polígono dentro del que hay un pluviómetro. Los polígonos situados en el extremo de la cuenca de recepción, siguen el contorno exterior de la cuenca (Figura 1).

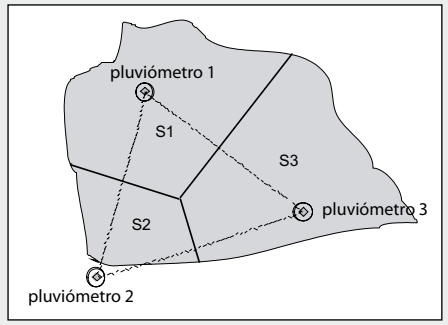


Figura 1. Método Thiessen: ponderación por áreas.

La pluviosidad media de una cuenca es: $P = (\Sigma\, p_i\, S_i)/S$

En la que P es la pluviosidad media para toda la cuenca (mm) p_i la pluviosidad registrada por cada pluviómetro i (mm) S_i el área de cada polígono que encierra un pluviómetro i (m^2) y S el área total de la cuenca de recepción (m^2).

El método Thiessen debe usarse cuando hay una densidad elevada de pluviómetros: entonces la técnica de ponderación es sencilla. Por otra parte, tiende a dar mayor importancia a los pluviómetros aislados cuando la red no es muy densa. Si estas estaciones aisladas no son representativas de la cuenca, se podría desvirtuar el cálculo de la pluviosidad media.

Método de los valores iguales

Se dibujan curvas con los puntos que dan el mismo valor de un parámetro dado (nivel, pluviosidad, conductividad, etc.) en una fecha o período de tiempo determinados. Así, las líneas isopiezométricas son curvas con el mismo valor piezométrico, las de nivel son curvas de igual altitud, las isoyetas son curvas con la misma pluviosidad, las curvas de isoconductividad unen puntos con los mismos valores de la conductividad, etc.

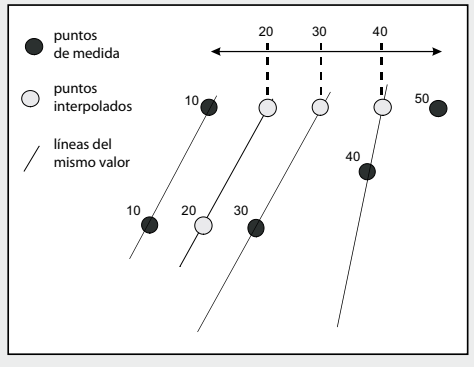


Figura 2. Método de valores iguales: variación lineal proporcional a la distancia.

El método supone que los valores de un parámetro dado varían linealmente y es directamente proporcional a la distancia entre dos puntos (Figura 2).

Cuando se trazan a mano, las curvas del mismo valor ayudan a poner de relieve características importantes: agua superficial en el caso de líneas isopiezométricas, relieve o exposición solar en el caso de isoyetas, etc. Esto también se puede conseguir mediante el programa Surfer, pero requiere la alimentación de datos y parámetros detallada y laboriosa para modificar el programa: si no se hace este ajuste, los resultados pueden ser erróneos. Por ello, es siempre recomendable trazar las curvas a mano para integrar todas las características del entorno con mayor rapidez.

Medida del área

A menudo es necesario calcular áreas en los mapas o diagramas, p.ej. para el cálculo del área de una cuenca de recepción, polígonos Thiessen, áreas entre curvas, etc.

El método más sencillo consiste en dibujar o trazar las áreas a calcular en papel milimetrado y contar los cuadrados, esto es bastante laborioso pero efectivo.

También es posible usar un planímetro, que proporciona una medida del área de una superficie de cualquier forma. Consiste en un brazo articulado, con uno de los extremos fijo en un punto y el otro con una esfera en la que se lee directamente el área. La adquisición de un artículo como este solo se justifica si se miden áreas con regularidad.

Por último, hay figuras que se pueden manejar con ciertos programas (Surfer, Mapinfo, etc.) y, entonces, se pueden dibujar polígonos asociados a las áreas a medir.

En las fórmulas dadas en el Cuadro 2, se hace una distinción entre la evapotranspiración potencial (PET) y la real (RET). La evapotranspiración potencial es siempre una cantidad máxima teórica, suponiendo que las plantas estén en condiciones de su capacidad óptima de transpiración (esto es, que las plantas tengan acceso a la cantidad de agua requerida para transpirar plenamente).

Cuando se conocen la precipitación P, infiltración I y la evapotranspiración real se puede calcular el caudal total: E = P – RET – I

Cuadro 2.
Cálculo de la RET.

Método del equilibrio Thornthwaite

Este método permite trabajar en intervalos de un mes o 10 días. En primer lugar, es preciso calcular la evapotranspiración potencial (PET), que se puede estimar como la capacidad de evaporación de la atmósfera. Luego se calcula la evapotranspiración real (RET), comparando la PET con los recursos disponibles para la evaporación y la transpiración. Aunque la evapotranspiración sea elevada, ha de haber suficiente agua para que pueda tener lugar. La disponibilidad de agua se calcula a partir de la "reserva fácilmente usable" (EUR). Esto es una reserva teórica: no tiene una existencia real, aunque la EUR puede considerarse como la cantidad de agua almacenada en los primeros metros de subsuelo.

Cálculo de la PET mensual usando la fórmula de Thornthwaite

$$PET = 16C/(10Tm/I)^a$$

PET=evapotranspiración potencial (en mm);
C=coeficiente de la luz del dia;
Tm=media temperatura mensual (ºC);
a=exponente derivado del indice de calor (I);
$I=\sum(Tm/5)1{,}51$;
$a=(67{,}5\cdot10^{-8}\cdot I^3)-(77{,}1\cdot10^{-6}\cdot I^2)+(0{,}0179\cdot I)+(0{,}492)$
La fórmula proporciona buenos resultados en climas con temperaturas marinas (p.ej. en Normandía, Francia), pero da valores bajos de la PET (hasta en un 30%) en climas cálidos y secos.

Cálculo de la PET en base mensual o de 10 días usando la fórmula de Turc.

$$PET = c \cdot t/(t+15)\,(I_g + 50)\,b$$

En la que PET es la evapotranspiración potencial mensual o de 10 días (mm), t es la temperatura media mensual o por 10 días (ºC), Ig la radiación solar global (cal/cm^2./día), I_0 la radiación máxima teórica (cal/cm^2/día), H la duración astronómica del día (h) y h la duración de la insolación (h).

– Para la PET mensual, c es 0,40 para los meses de 30 ó 31 días y 0,37 para febrero; en los períodos de 10 días, c es 0,13.

– b es 1 si la humedad relativa media de la atmósfera (rh) es superior al 50 % (caso más frecuente). En climas desérticos, rh < 50% y b = (1+(50-rh)/70).

– Los parámetros I_0, H y h están tabulados: $I_g = I_0(0{,}18+0{,}62(h/H))$.

Aunque sea más difícil de usar que la de Thornthwaite, esta fórmula da buenos resultados incluso en climas húmedos (en climas muy húmedos, se tienen todavía valores bajos de RET, pero menos del 10%).

Equilibrio de Thornthwaite

Este método compara los valores de PET calculados por cualquiera de las dos fórmulas anteriores con la precipitación y la EUR sobre un período dado de tiempo. El principio del cálculo hace provisión para que la lluvia alimente el PET en primer lugar, luego sature el EUR hasta su nivel máximo y finalmente alimente la escorrentía superficial tras la saturación del PET y del EUR. Se sigue el procedimiento siguiente:

– si P + EUR ≥ PET; RET = PET; EUR = P – RET y E = - (EUR + RET)
– si P + EUR < PET; RET = PET – (P + EUR); EUR = P – RET y E = 0

en la que P es la precipitación, PET la evapotranspiración potencial, RET la evapotranspiración real, EUR la reserva fácilmente usable y E el caudal (superficial y subterráneo). Se da un ejemplo en la Tabla I.

Tabla I. Equilibrio Thornthwaite en base mensual con una EUR inicial de 100 mm. P = precipitación (mm); EUR = reserva fácilmente usable; PET = evapotranspiración potencial mensual (mm); RET = evapotranspiración real (mm).

		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Total
P		100	90	80	70	60	50	50	60	70	80	90	100	900
EUR	100	100	100	100	86	35	0	0	0	0	8	54	100	
PET		34	40	61	84	111	138	156	140	105	72	44	32	
RET		34	40	61	84	111	85	50	60	70	72	44	32	743
E		66	50	19	0	0	0	0	0	0	0	0	22	157

La EUR inicial se ha de escoger sobre la base del contexto geológico y pedológico. El valor de EUR = 100 mm se toma generalmente de contextos parecidos a los que Thornthwaite usó para desarrollar su método: clima húmedo moderado con terrenos cultivados (Este de los EEUU). Para un terreno poco proclive a almacenar agua, el valor inicial del EUR puede ser inferior: en un medio kárstico (manantial de Vaucluse) Puig escogió un EUR de 50 mm. El valor de EUR se puede verificar comparando los valores reales anuales del caudal con los calculados con las fórmulas de Turc y de Coutagne.

Cálculo del RET anual con la fórmula de Coutagne

$$RET = P - \lambda P^2$$

En la que RET es la evapotranspiración real (m), P la precipitación media anual (m), $\lambda = 1 / (0{,}8 + 0{,}14T9)$ si 1/8 < P < ½, T es la temperatura media anual (ºC). Si:

– 1/8 > P, entonces RET es igual a la precipitación, y por tanto el caudal es cero;
– P > ½, entonces RET es independiente de la precipitación y se calcula con:
– RET = 0,2 + 0,035 T

Cálculo del RET anual usando la fórmula de Turc

$$RET = P / (0{,}9 + P^2/L^2))^{1/2}$$

Donde RET es la evapotranspiración real (mm), P es la precipitación media anual (mm) T la temperatura media anual (ºC) y $L = 300 + 25T + 0{,}05T^3$

2.1.2 ESTIMACIÓN DE LAS APORTACIONES

2.1.2.1 APORTACIONES

La aportación principal al sistema suele ser la precipitación útil, que es la fracción de lluvia que se filtra a través del terreno y que contribuirá efectivamente a la recarga del acuífero. Sin embargo, hay muchas otras aportaciones que alimentan un acuífero: filtración de aguas superficiales de ríos, lagos, etc., de otros acuíferos, pérdidas desde las acequias de riego y otros. Estas aportaciones se pueden ver por piezometría, análisis físicos del agua (el más sencillo es el estudio de conductividad) y, también, por la geología.

El volumen de estas aportaciones se calcula por la ley de Darcy y por observación directa. No obstante, las limitaciones existentes en todo programa humanitario no siempre dejan suficiente tiempo para realizar estas investigaciones. Por ello, solo se pueden estudiar los sistemas simples con aportaciones fáciles de cuantificar.

2.1.2.2 PRECIPITACIÓN ÚTIL

Es posible establecer una relación entre el caudal que se escurre y el que se infiltra. Esta relación se basa en la capacidad de distribución del suelo calculada con el índice hidrogeológico de la Tabla I.

Tabla I: Índices hidrogeológicos calculados a partir de datos anuales tomados a lo largo de varios años (según Castagny y BRGN).

	Zona sedimentaria (yeso, cuenca Hallue)	Zona de roca base (esquistos y granitos, Burkina Faso)		
Precipitación media, mm/año	740	513	807	1076
PET medio (mm/año)	514	310	446	674
E medio (mm/año)	226	203	361	402
Índice (%)	92	67	61	66
P_u medio (mm/año)	208	136	221	266
Caudal superficial medio (mm/año)	18	67	140	136

Es importante escoger un índice representativo de las condiciones del área estudiada. Esta elección es importante porque tiene una gran influencia en los resultados: es necesario, por tanto, validar el resultado del balance calculado con el obtenido a través del método hidrogeológico.

2.1.3 VARIACIONES DE LAS EXISTENCIAS

El volumen de agua almacenada en el acuífero en cualquier momento t viene dado por el volumen del yacimiento y de la porosidad útil.

El volumen del yacimiento se estima a partir del área y del espesor. El área se estima por el mapa geológico (topográfico) y/o los estudios del terreno. Su potencial se deduce de los resultados de los sondeos y de los estudios geofísicos.

La porosidad útil (o coeficiente de almacenamiento si se trata de un acuífero confinado) se calcula a partir de los ensayos de bombeo.

Sin hacer estos cálculos, que son difíciles de realizar en el terreno, el seguimiento piezométrico a lo largo de varios años permite medir los cambios de agua almacenada (Δs). Si los cambios son despreciables, este término se puede eliminar del balance.

2.1.4 ESTIMACIÓN DE LA RECARGA

Ahora que se han cuantificado los aportes y se han evaluado los cambios de existencias, es sencillo calcular la recarga a partir de la expresión para el balance:

$$\text{Recarga} = P_u + I_s +/- \Delta s$$

en la que P_u es la precipitación útil (m^3/año), I_s otros aportes (m^3/año) y Δs los cambios de existencias del acuífero (m^3/año).

Tabla II: Balance hidrológico simplificado realizado en Córcega con datos de pluviosidad y temperaturas medias mensuales (1961-1992).

Método de cálculo del flujo total	E(mm/año)	E(l/s/km²)
Coutagne (anual)	97,2	3,1
Turc (anual)	60,9	2
Balance Thorthewaite con ETP Turc mensual	108,5	3,5

Cuenca de recepción	Superficie (km²)	Flujo total calculado (balance)		Salidas		Entradas (PU=E-ESF) (m^3/año)	Balance (m^3/día) (recursos renov. no explotados PU-Qp)
		E (l/s/km²)	E (m^3/año)	Flujo superf. estimado (m^3/año)	Bombeo Qp (m^3/año)		
1	7,0	3,5	772632	515088	73000	257544	505
2	4,0	3,5	441504	220752	146000	220752	204
3	3,0	3,5	331128	0	73000	331128	707
4	4,5	3,5	496692	248396	146000	248346	280
5	4,9	3,5	540842	180280	146000	360561	587
6	23,4	3,5	2582798	1164466	584000	1418331	2285

El ejemplo dado en la Tabla II muestra un balance simplificado realizado en Córcega. Se probaron varios valores de EUR: se tomó un valor para el EUR de 50 por la pedología del lugar (poco suelo) que permitía suponer que el potencial de almacenamiento del agua en el suelo accesible a las plantas era bajo. Además, los cálculos realizados con un EUR de 50 dieron valores del caudal comparables a los calculados con fórmulas anuales.

2.2 Cálculos basados en los caudales obtenidos

El procedimiento es como sigue:

– calcular las salidas estimando las extracciones por bombeo (Q_p) y medir el caudal subterráneo (Q_s) que alimenta los ríos y las fuentes;

– estimar los cambios en las existencias (s);

– estimar la recarga a partir de los términos del equilibrio que se pueden calcular.

2.2.1 ESTIMACIÓN DE LAS SALIDAS

2.2.1.1 EXTRACCIONES

A veces, con bombas motorizadas, se registra el volumen de agua bombeado. Si no es este el caso, como en las bombas manuales, se puede hacer un cálculo a partir del número de usuarios, promedio diario de uso y caudal de bombeo. Una bomba manual usada intensivamente, por ejemplo 6 horas al día, puede producir hasta: 6 h·800 lit./hora = 4,8 m^3/día.

2.2.1.2 MANANTIALES Y RÍOS

El caudal de manantiales y ríos alimentados por el acuífero se corresponde con las salidas del sistema. Es necesario, por tanto, medir estos caudales y tenerlo en cuenta en el balance. No obstante, este es el término más difícil de calcular.

El caudal de los manantiales se mide en momentos concretos (en base mensual o de 10 días).

En términos estrictos, es importante tener un registro del caudal de un río durante un plazo bastante largo para ser capaces de conocer el caudal básico. Es decir el generado por un acuífero y no el debido a la escorrentía. En los programas de ACF es difícil obtener estos registros. Se puede estimar, no obstante, que el caudal mínimo representa la aportación del acuífero (p.ej. si no hay lluvia no hay escorrentía).

2.2.1.3 OTRAS SALIDAS

Los desagües de un acuífero al mar, las transferencias entre yacimientos, etc. son difíciles de medir en programas humanitarios. Por esto, no es posible realizar balances en sistemas complicados.

2.2.2 VARIACIONES DE LAS EXISTENCIAS

Estas variaciones se calculan del mismo modo que en el caso anterior (ver Sección 2.1).

2.2.3 ESTIMACIÓN DE LA RECARGA

Esta estimación se obtiene de la ecuación del balance:

$$\text{Recarga} = Q_s + Q_p +/- \Delta s$$

en la que Q_s es el caudal subterráneo (m^3/año), Q_p es el caudal extraído por bombeo (m^3/año) y Δs es la variación de las existencias (m^3/año).

3 DATOS METEOROLÓGICOS DEL MUNDO

3.1 Temperaturas en enero (ºC)

Longitud	Oeste							0	Este									
	105º	90º	75º	60º	45º	30º	15º	0º	15º	30º	45º	60º	75º	90º	105º	120º	135º	150º
Latitud																		
30º N	12	16					13	10	12	8	6	16	17	16	8			
20º N	21	24	24				22	21	15	15	16	16	22	24		21		
10º N			22	23			24	22	22	22	24		27	20	26	21		
0º		22	26	23	25			23	23	25				20	26	26	27	
10º S		10	24	24	21				23	25	21					30	27	
20º S			26	23					23	22	22				27	32	31	
30º S																		

3.2 Temperaturas en julio (ºC)

Longitud	Oeste							0	Este									
	105º	90º	75º	60º	45º	30º	15º	0º	15º	30º	45º	60º	75º	90º	105º	120º	135º	150º
Latitud																		
30º N	27	23					30	30	25	22	28	30	31	23	27			
20º N	21	20	21				27	27	27	28	29	27	28	24		27		
10º N			21	23			24	22	23	27	27		32	27	24	28		
0º		14	23	23	26			22	22	16				27	27	23	23	
10º S		10	16	21	16				15	13	20					25	14	
20º S			0	13					11	11	14				12	13	12	
30º S																		

3.3 Precipitación media anual (mm)

Longitud	Oeste							0	Este									
	105º	90º	75º	60º	45º	30º	15º	0º	15º	30º	45º	60º	75º	90º	105º	120º	135º	150º
Latitud																		
30º N	500	1600					50	50	50	10	60	200	1500	2000	2200			
20º N	2000	2500	1200				400	200	200	100	70	400	1000	2500		3000		
10º N			2000	2500			2000	1700	1500	600	100		1000	4000	3000	3500		
0º		1000	2700	2000	700			1000	1500	700				4000	2000	2800	3000	
10º S		300	2200	2000	1000				600	700	1500					400	500	
20º S			600	1500					300	600	1700				300	150	160	
30º S																		

3.4 RADIACIÓN SOLAR SOBRE UNA SUPERFICIE HORIZONTAL (ºC)

$$I_g = I_0 (0{,}18 + 0{,}62h/H)$$

La radiación solar global I_g (llamada también R_g) viene dada en cal/cm²/día, en la que 1 caloría = 4,1855 J, y 1 cal/cm²/día = 0,011625 kWh/m²/día; h es el número de horas medidas de insolación diaria, H la duración astronómica del día (día astronómico) e I_0 la radiación máxima teórica (cal/cm²/día), también conocida como I_{ga} o PSH (horas del pico solar, "peak sun hours").

Valores de H, duración del día astronómico (h)				
Latitud norte	30º	40º	50º	60º
Enero	10,45	9,71	8,58	6,78
Febrero	11,09	10,64	10,07	9,11
Marzo	12,00	11,96	11,90	11,81
Abril	12,90	13,26	13,77	14,61
Mayo	13,71	14,39	15,46	17,18
Junio	14,07	14,96	16,33	18,73
Julio	13,85	14,68	15,86	17,97
Agosto	13,21	13,72	14,49	15,58
Septiembre	12,36	12,46	12,63	12,89
Octubre	11,45	11,15	10,77	10,14
Noviembre	10,67	10,00	9,08	7,58
Diciembre	10,23	9,39	8,15	6,30

Valores de I_{ga} (kWh/m²/día) sobre una superficie horizontal				
Latitud norte	30º	40º	50º	60º
Enero	5,9	4,2	2,6	1,0
Febrero	7,3	5,8	4,2	2,5
Marzo	8,9	7,8	6,5	5,0
Abril	10,2	9,7	8,8	7,9
Mayo	11,0	11,0	10,7	10,2
Junio	11,3	11,5	11,4	11,3
Julio	11,1	11,1	10,9	10,6
Agosto	10,4	10,0	9,3	8,5
Septiembre	9,2	8,3	7,1	5,7
Octubre	7,6	6,2	4,7	3,0
Noviembre	6,1	4,5	2,9	1,3
Diciembre	5,5	3,8	2,1	0,6

ANEXO 7

Análisis y calidad del agua

A	**INDICADORES NO CONTEMPLADOS POR LA OMS**	709
B	**ESTUDIO SANITARIO DEL PUNTO DE AGUA**	710
1	**Formas de inspección sanitaria para varios tipos de puntos de agua**	710
1.1	Aguas subterráneas: pozos, sondeos con bomba manual, sondeo con un sistema de bomba motorizada	710
1.2	Manantial protegido	710
1.3	Recogida de lluvia del tejado	711
1.4	Camiones cisterna	711
1.5	Suministros por tubería	711
2	**Calidad del agua en varios puntos de un sistema**	712
3	**Análisis de riesgos: valoración de las prioridades para acciones correctoras (selección de puntos de agua)**	712
C	**MÉTODO CORRECTO DE TOMA DE MUESTRAS DE UN GRIFO Y DE UNA CORRIENTE SUPERFICIAL**	713
D	**REGISTRO DE ANÁLISIS DEL AGUA**	714
E	**KIT DELAGUA**	716

A INDICADORES NO CONTEMPLADOS POR LA OMS

Varios elementos químicos no están incluidos entre los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud, OMS, porque su toxicidad no ha sido determinada (fosfatos, potasio, calcio, magnesio y otros). En algunos países estos elementos, están recogidos en normativas publicadas en directivas nacionales, p.ej. las directivas AEP (*Alimentation en eau potable*) de Francia, 1989.

DIRECTIVAS FRANCESAS AEP

Parámetros	Directivas AEP	Interpretación
Calcio (Ca^{++})	ninguna	O: rocas H: sin problemas en sí, incrustaciones en tubos
Magnesio (Mg^{++})	50 mg/l	O: rocas (arcillas, basaltos) H: sabor amargo, efecto laxante
Sodio (Na^{+})	150 mg/l	O: natural (medios triásicos) H: efecto laxante, indicador de contaminación
Dureza (Ca^{++}+Mg^{++})	ninguna	O: dureza=calcio y magnesio H: sin problema; sabor, incrustaciones a c>200
Fosfatos (PO_4,P_2 O_5)	5 mg/l	O: materia orgánica, natural (fosforita), abonos, contaminación fecal, industria química, polifosfatos usados contra las incrustaciones, detergentes H: detergente, indicador de fertilizantes y fecal O: fertilizantes, lavado de rocas
Potasio (K^{+})	12 mg/l K	H: sin problemas, radioactividad del isótopo K^{40} O: evidencia de materia orgánica
Capacidad de Oxidación	ninguna	O; oxígeno atmosférico, fotosíntesis
Oxígeno disuelto	ninguna	H: sin problemas O: ion hidrógeno
pH	ninguna	H: parámetro significativo para tratamiento O: materia disuelta
Conductividad	ninguna	H: sin problema en sí.

O: origen; H: salud

En todo programa humanitario deben seguirse las recomendaciones de la OMS, pero puede ser también adecuado referirse a las directivas nacionales (que son iguales prácticamente en todos los países europeos).

B ESTUDIO SANITARIO DEL PUNTO DE AGUA

1 FORMAS DE INSPECCIÓN SANITARIA PARA VARIOS TIPOS DE PUNTOS DE AGUA

Adaptación de las recomendaciones de la OMS para agua potable, Vol. 3, Anexo 2.

Se pueden considerar varias maneras de llevar a cabo inspecciones sanitarias según sea el sistema de agua. Se pueden adaptar los formularios a situaciones o contextos específicos.

1.1 Aguas subterráneas: pozos, sondeos con bomba manual, sondeo con un sistema de bomba motorizada

	sí	no	recomendación
¿Hay alguna letrina o algún foco de contaminación a menos de 30 m del pozo?			
¿Deja pasar el vallado del pozo algún animal?			
La zanja de desagüe ¿tiene menos de 2 m, está rota o sucia?			
¿Hay agua estancada cerca del pozo?			
¿Tiene menos de1 m de ancho el cubeto del pozo?			
¿Hay grietas en el cubeto o en el brocal del pozo?			
¿Está contaminada y cerrada la tapa del pozo?			
¿Están bien sellados los tres primeros metros del pozo por debajo del suelo?			
¿Está sucio el punto de agua?			
¿Está en malas condiciones el sistema de extracción?			
¿Están sucias las cuerdas o el cubo?			
CALIFICACIÓN TOTAL DEL RIESGO (número de “síes”)			

1.2 Manantial protegido

	sí	no	recomendación
¿Hay alguna letrina o fuente de contaminación a menos de 30 m aguas arriba del manantial?			
¿Pueden atravesar los animales la valla de protección?			
¿Está taponada la zanja de desagüe originando un charco?			
¿Puede originar el manantial una contaminación de aguas superficiales?			
¿Tiene grietas la caja del manantial?			
¿Está agrietada o contaminada la tapa para la inspección?			
¿Se ha perdido el filtro del tubo rebosadero o está sucio o contaminado?			
¿Está tapada, o no hay, zanja para desviar aguas sobre el manantial?			
¿Está sucio el punto de agua?			
¿Hay agua estancada en el punto de recogida?			
CALIFICACIÓN TOTAL DEL RIESGO (número de “síes”)			

1.3 Recogida de lluvia del tejado

	sí	no	recomendación
¿Está limpia la zona del tejado?			
¿Están limpias las bajantes que recogen el agua?			
¿Falta el filtro a la entrada del tanque o no funciona?			
¿Hay algún otro punto de acceso al tanque sin proteger?			
¿Hay grietas en las paredes del tanque?			
¿Está sucio el interior del tanque o no se limpia y desinfecta periódicamente?			
¿Gotean los grifos?			
¿Falta el cubeto de cemento alrededor del tanque, o está roto o sucio?			
¿Está en malas condiciones el desagüe y el agua no drena correctamente?			
¿Hay algún tipo de contaminación cerca del tanque o del área de recogida?			
CALIFICACIÓN TOTAL DEL RIESGO (número de “síes”)			

1.4 Camiones cisterna

	sí	no	recomendación
¿Está saneado el punto donde recoge agua el camión?			
¿Hay cloración adecuada del agua a lo largo del proceso de suministro mediante cisternas?			
¿Está limpio y saneado el tubo de carga y descarga de agua al camión?			
¿Se usa el camión cisterna para transportar otros líquidos además de agua potable?			
¿Está saneado el filtro del orificio de carga del camión o falta la tapa?			
¿Hay alguna parte del sistema (cisterna del camión, depósito de la comunidad, punto de distribución) que no se limpie y desinfecte periódicamente?			
¿Está sucio o falto de saneamiento el depósito o el punto de distribución?			
¿Se clora el agua del depósito o del punto de distribución?			
¿Está mal tapado el depósito del punto de distribución?			
¿Hay charcos de agua alrededor del depósito o del punto de distribución?			
CALIFICACIÓN TOTAL DEL RIESGO (número de “síes”)			

1.5 Suministros por tubería

	sí	no	recomendación
¿Está bien protegido el recurso?			
¿Hay alguna fuga entre el recurso y el depósito?			
Si hay cajones rompe-presión ¿están saneadas las tapas?			
¿Está agrietado el depósito o gotea o no están saneados la tapa de inspección o el tubo de ventilación?			
¿Está sucio el depósito o no se limpia regularmente?			
¿Hay pérdidas por goteo en el sistema de distribución?			
¿Están sin vallar las áreas alrededor de los grifos o tienen acceso los animales?			
¿Es inadecuado el desagüe y hay charcos alrededor de los grifos?			
¿Están sucios los alrededores de los grifos y con posibles focos de contaminación (excrementos, basuras)?			
CALIFICACIÓN TOTAL DEL RIESGO (número de “síes”)			

2 CALIDAD DEL AGUA EN VARIOS PUNTOS DE UN SISTEMA

Se requiere también información sobre la calidad del agua para hacer un análisis adecuado de los riesgos de contaminación y de contagio de enfermedades. El análisis de la calidad del agua debe hacerse en todos los puntos del sistema de agua tal y como se indica en el formulario indicado a continuación.

Punto de agua		Percepción general			Bacteriología		Otros parámetros adicionales a las recomendaciones de la OMS
Muestras		Olor	Color	Sabor	Nº de coliformes fecales/100 ml	Origen probable de la contaminación	
Parte del sistema de agua Almacenamiento en las casas	– Recogida – Depósitos – Tubería de distribución – Punto de distribución – Transporte – Vivienda						

3 ANÁLISIS DE RIESGOS: VALORACIÓN DE LAS PRIORIDADES PARA ACCIONES CORRECTORAS (SELECCIÓN DE PUNTOS DE AGUA)

Un análisis completo de riesgos requeriría la consideración de todos los factores relacionados con la vulnerabilidad a las enfermedades transmitidas por el agua. Tales como, tamaño de la población, temas sanitarios, estado nutricional, disponibilidad de alimentos, factores ambientales, situación del agua y saneamiento, etc.

La estandarización del análisis completo en una herramienta única es difícil porque los factores tienen impactos diferentes según las situaciones encontradas y algunos indicadores de referencia también pueden ser diferentes según la situación. Por lo tanto, es más fácil hacer un análisis de riesgos más específico teniendo en cuenta solamente algunos parámetros, como en el caso indicado más abajo en el que el análisis se centra en el riesgo de contaminación de un punto de agua y la calidad bacteriológica del agua.

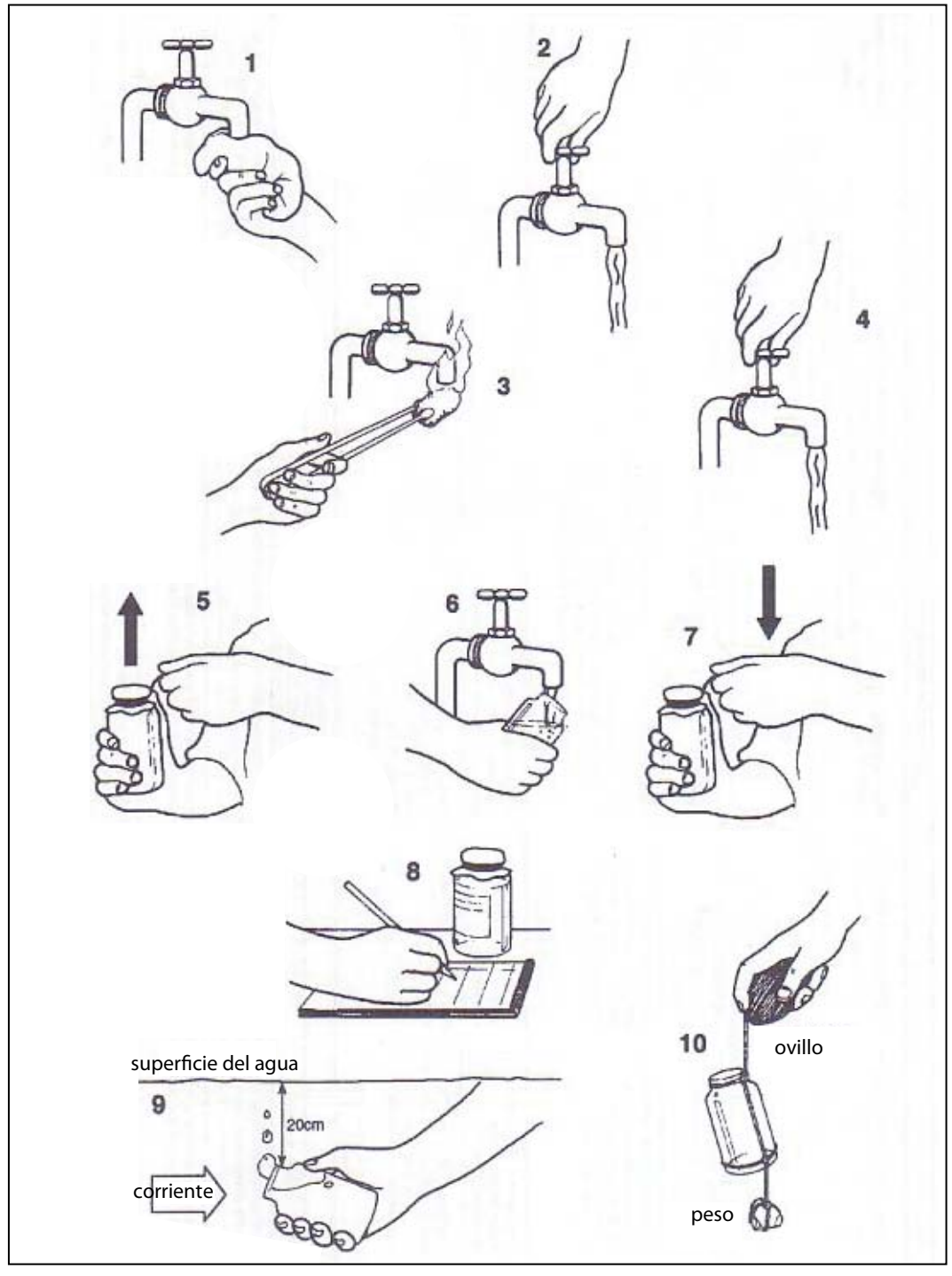
El análisis de riesgo combina la medida de la contaminación actual en un momento dado (llevada a cabo por el análisis bacteriológico) con puntos de riesgo futuros (por medio de la puntuación en la encuesta sanitaria). El resultado es una tabla en la que los puntos de agua se ordenan para determinar las prioridades en la actuación como se indica en la tabla a continuación.

Normalmente, los mayores riesgos de contaminación se asocian a la mala calidad del agua y presentan una prioridad urgente para actuar, pero una contaminación fecal baja también requerirá acción urgente si la puntuación sanitaria es elevada.

	classificación del riesgo según la inspección sanitaria										
Coliformes fecales/100ml	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
> 100											
11 – 100											
1 – 10											
0											
acción requerida	A	B			C			D			

A: no se necesita tomar acción — B: acción poco prioritaria — C: acción con prioridad — D: acción urgente, máxima prioridad

C MÉTODO CORRECTO DE TOMA DE MUESTRAS DE UN GRIFO Y DE UNA CORRIENTE SUPERFICIAL



D REGISTRO DE ANÁLISIS DEL AGUA

HOJA DE REGISTRO PARA LOS ANÁLISIS SIMPLES DE AGUA

Identificación del lugar:

Agente que toma la muestra:

Situación general:

Fecha de la toma de muestra:

Tipo del recurso de agua:

Fecha del análisis:

Características	Parámetro	Fórmula	Recomendación OMS 2003	Recomendación OMS basada en la salud	Unidades	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Media	Desviación estándard	Valor máximo
Organolépticas	Color	–	15	No	TCU						
	Olor	–	Aceptable	No	–						
	Sabor	–	Aceptable	No	–						
	Turbidez	–	<= 5	No	NTU						
Físicoquímica	Temperatura	–	Aceptable	No	mg/l						
	pH	–	–	No	mg/l						
	Conductividad	–	Aceptable	No	mg/l						
	Sulfatos	SO_4^-	< 250	No	mg/l						
	Sodio	Na^+	< 200	No	mg/l						
	Aluminio	Al	< 0,2	No	mg/l						
	Cloruros	Cl^-	< 250	No	mg/l						
Productos químicos indeseables	Nitratos	NO_3^-	–	50	mg/l						
	Nitritos	NO_2^-	–	3	mg/l						
	Amonio	NH_4^+	< 1,5	No	mg/l						
	Manganeso	Mn	–	0,4	mg/l						
Elementos tóxicos	Fluor	F	–	1,5	mg/l						
	Arsénico	As	–	0,01	mg/l						
	Plomo	Pb	–	0,01	mg/l						
Desinfectante	Cloro	Cl_2	–	5	mg/l						
Orgánicos	E. coli	–	–	0	Colonias/100 ml						

Recomendación del analista:

Recomendación del jefe de proyecto:

E KIT DELAGUA

KIT PORTÁTIL PARA EL ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO DEL AGUA (KIT DELAGUA)

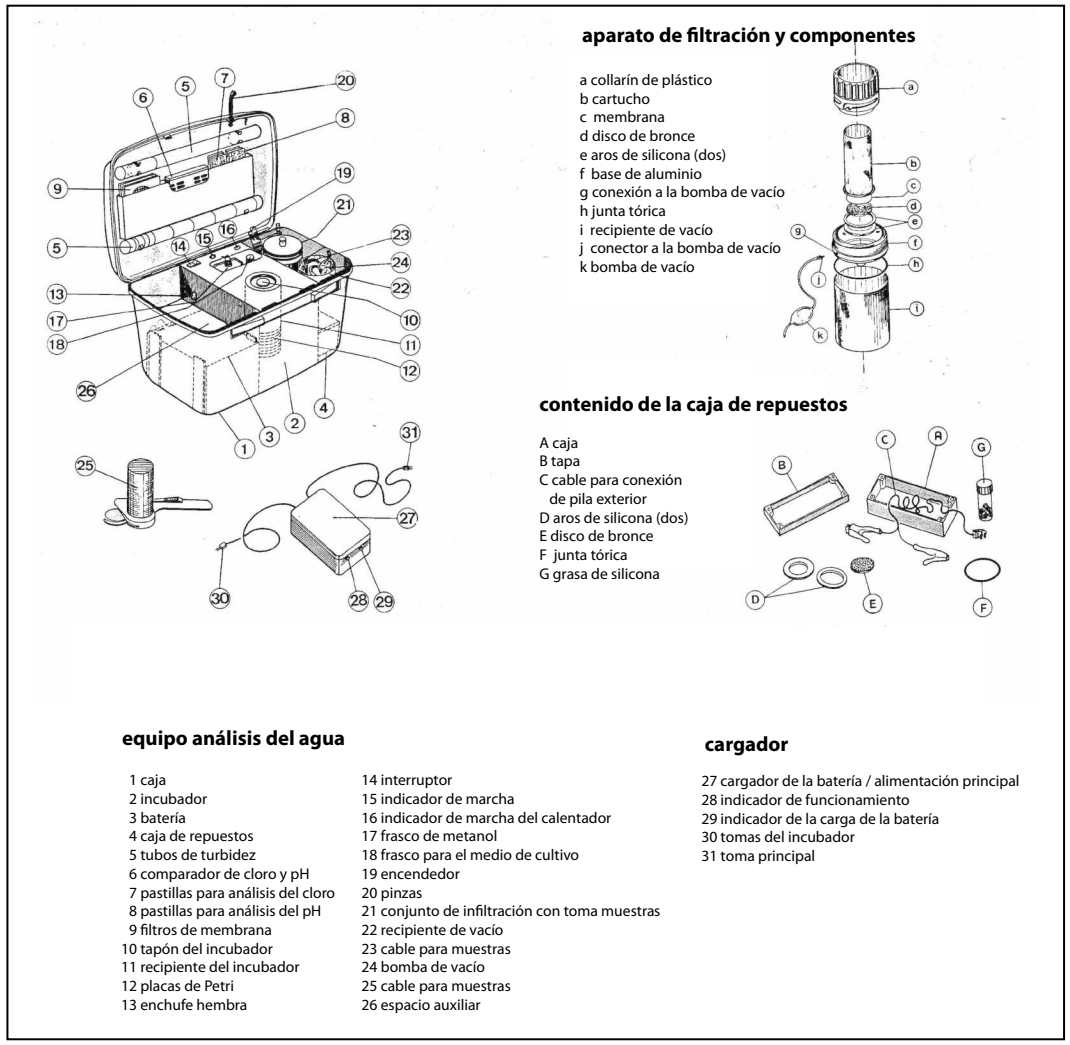
Composición del kit

– 4 cajas con 50 ampollas de caldo de cultivo para coliformes fecales.
– 200 filtros (45 micras)
– 200 paños absorbentes
– 500 bolsas de muestras (180 ml)
– 1 kit DELAGUA

Caldos de cultivo usados por ACF

– Caldo de cultivo de la marca Millipore listo para usar, disponible en ampollas de plástico de 2 ml, para coliformes fecales. Tiempo de incubación: 18 a 24 h a 44ºC.

– Los coliformes fecales desarrollan colonias azules. Otras bacterias forman colonias de otros colores (amarillo, rosa, gris).



Geofísica

A	**EQUIPO**	717	**3**	**Características técnicas**	719
1	**Instrucciones para la medida de resistividades**	717	**B**	**REGISTROS DE LOS ARCHIVOS DE MEDIDAS ELÉCTRICAS**	720
2	**Instrucciones para la recarga de la batería integrada**	718	**C**	**NOMOGRAMAS**	722

A EQUIPO

El medidor de resistividades Ωmega fue desarrollado por ACF en colaboración con la asociación Aquifer. Reúne la mayoría de los requisitos para la exploración eléctrica de la Geofísica (DC, corriente continua), reúne una serie de características que lo hacen especialmente útil en las condiciones de trabajo en que se desarrollan las misiones humanitarias: posibilidad de aceptar varios tipos de alimentaciones (batería integrada, batería exterior de 12 V, grupo de 220 V, baterías en serie de hasta 400 V), posibilidad de recarga de la batería integrada con alimentaciones externas de baterías de 12 V o con una red de 220 V de corriente alterna. El precio de compra del conjunto ACF es de 4.500 € e incluye el medidor de resistividad completo, dos carretes de 400 m (AB), dos carretes de 200 m (MN), una brújula, dos cintas métricas de 50 m, papel logarítmico transparente y nomogramas Caniard.

El compromiso entre peso, precio y servicio permite la exploración hasta profundidades de 60 ó 70 m en áreas de alta resistencia (roca base con productos de descomposición y recubrimiento, por ejemplo) y hasta 40 ó 50 m en formaciones más conductivas (formaciones sedimentarias arcillosas, por ejemplo). Si las condiciones requieren más potencia (ambientes muy conductivos, altas profundidades) es preciso usar equipos más potentes (800 V, 400 W) y mucho más caros.

1 INSTRUCCIONES PARA LA MEDIDA DE RESISTIVIDADES

1) Escoger MEASURE en el selector de FUNCTION: el instrumento de medida se enciende.
2) Seleccionar la alimentación con el selector POWER:

- batería integrada
- batería exterior de 12 V
- corriente alterna de 230 V
- corriente continua: máximo de 400 V.

3) Conectar los carretes A – B y M – N:

4) Seleccionar el voltaje a inyectar con el botón VOLT AB:

- 25 V
- 50 V
- 100 V
- 200 V
- 400 V

5) Pulsar MEASURE para inyectar la corriente. Esperar 3 – 4 segundos hasta que se estabilicen los valores marcados por los medidores y fijar los valores indicados con el botón HOLD.

Notas

– Las indicaciones de I y V de los medidores no son nunca perfectamente estables: al cabo de unos segundos tras la inyección, los valores disminuyen. El botón HOLD congela las medidas para facilitar la lectura simultánea de los valores marcados.

– Empezar con una inyección inferior a 25 V (seleccionar VOLT AB). Para una buena precisión en las medidas, se debe aumentar el voltaje cuando el voltaje de la respuesta es inferior a 10 mV.

– Se oye un pitido corto al soltar el botón MEASURE de inyección. Esto indica que todo va bien. Si el pitido suena durante la inyección, mientras se mantiene presionado el botón MEASURE, significa que:

- la batería está baja y necesita recarga;
- o que el voltaje de la inyección es demasiado elevado (el voltaje del instrumento es insuficiente): tomar otra medida a menor voltaje, por ejemplo 200 V en vez de 400 V.

2 INSTRUCCIONES PARA LA RECARGA DE LA BATERÍA INTEGRADA

1) Seleccionar INT.BAT.CHARGE con el botón FUNCTION

2) Seleccionar la alimentación disponible con el botón POWER:

– MAIN 230 V ó

– 12 V EXT.BAT.

3) Conectar la alimentación seleccionada al aparato con mordazas o conectores de potencia: el piloto verde se encenderá. Hay dos programas posibles de recarga:

– 1. Si se dispone de menos de 18 horas para la recarga: dejar la conexión tal cual tras las operaciones 1, 2 y 3 (no pulsar START). En este caso la batería se habrá cargado en 1/28 de su capacidad por cada hora de conexión, es decir, aproximadamente un 30 % en una noche.

– 2. Si se dispone de 18 horas ó más, pulsar START. El piloto verde se apagará y dará comienzo el siguiente ciclo:

- i. descarga de la batería: se enciende el piloto rojo y se apaga al terminar la descarga (según la capacidad remanente de la batería, esta operación de descarga puede durar entre varios minutos y cuatro horas);
- ii. recarga de 14 horas: al apagarse el piloto rojo, comienza el ciclo de recarga. Una vez completada se vuelve a encender el piloto verde. En este momento la batería estará cargada completamente.

Notas

– No se debe interrumpir un ciclo de carga tipo 2 una vez se haya empezado hasta que el piloto verde se encienda por segunda vez: como el ciclo empieza con una descarga, se corre el riesgo de descargar la batería sin haber tenido tiempo de recargarla.

– En caso de que haya un apagón en cualquiera de los procesos de carga 1 ó 2, el ciclo se reinicia automáticamente en el momento en que se paró, siempre que no se toque ningún botón de control.

– Para detener un ciclo cualquiera (caso de que se haya pulsado accidentalmente el botón START) seleccionar OFF con el botón FUNCTION y mantenerlo así durante un minuto, y luego volver a recargar con el ciclo 1.

– Si la batería se ha descargado completamente, el ciclo 2 no se puede comenzar de ninguna manera (el piloto verde no se apaga). Es preciso, entonces, cargar la batería con el ciclo 1 durante una hora y revertir al ciclo 2 pulsando START.

3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Batería integrada

– Ni mH (metal de níquel hidruro) 12 V y 7 Ah (p.ej., 0,7 A durante 10 horas, con puntas cortas de 30 A.)

– Número de medidas posibles con una batería completamente cargada. Entre 150 y 1 000.

Convertidor (DC/AC)

– Potencia = 150 W.

Transformador

– Potencia = 75 W (220 V y 0,35 A, eficiencia 90 %)

– 25 V / 3 A.

– 50 V / 1,5 A.

– 100 V / 0,75 A.

– 200 V / 370 mA.

– 400 V / 185 mA.

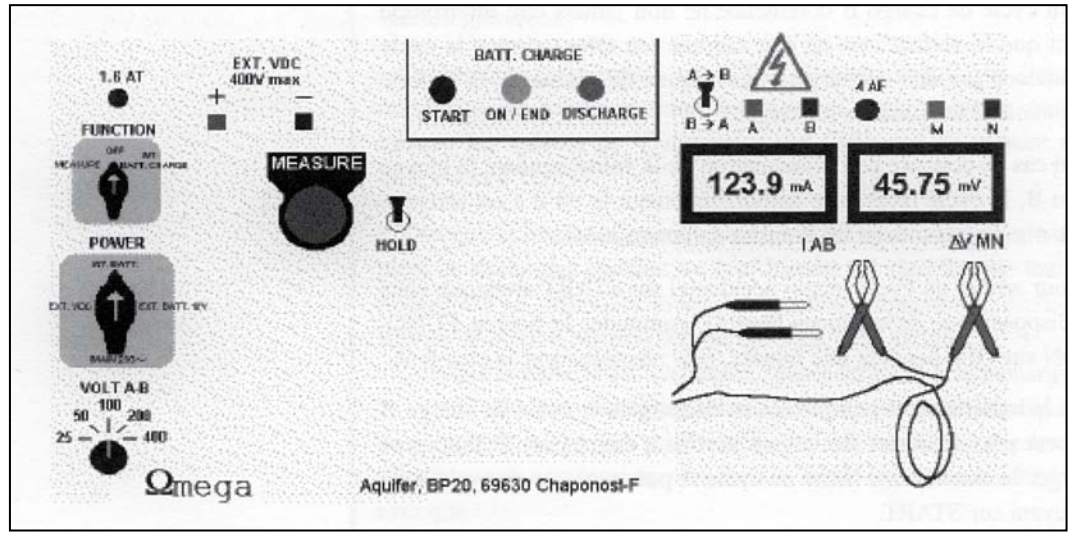
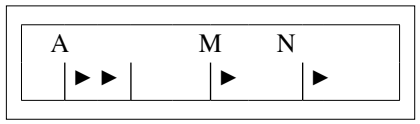


Figura 1: Frontal del aparato medidor de resistividades Ωmega.

B REGISTROS DE LOS ARCHIVOS DE MEDIDAS ELÉCTRICAS

ARCHIVO DEL PERFIL DE RESISTIVIDADES

Perfil de resistividades **Configuración**: Schlumberger	**Fecha:** **Referencia:**	**Lugar:** **X:** **Y:** **Z:**



Resistividad ρa = K x ΔV/I
K = Π x (AM x AN) / (MN)
AB = 200
MN = 20
K = 1,555

Observación – Dibujo

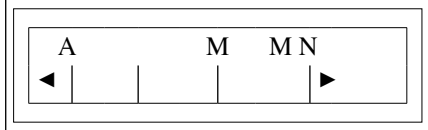
Perfil nº:_____ Dirección del perfil: N

Punto	ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a **(ohm/m)**
0			
10			
20			
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			
100			
110			
120			
130			
140			
150			
160			
170			
180			
190			
200			

Punto	ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a (ohm/m)
210			
220			
230			
240			
250			
270			
280			
290			
300			
310			
320			
330			
340			
350			
360			
370			
380			
390			
400			
410			
420			

ARCHIVO DEL SONDEO DE RESISTIVIDADES

Sondeo de resistividades **Configuración**: Schlumberger	**Fecha:** **Referencia:**	**Lugar:** **X:** **Y:** **Z:**



Resistividad ρa = K x ΔV/I
K = Π x (AM x AN) / (MN)
AB max =
MN solapes =

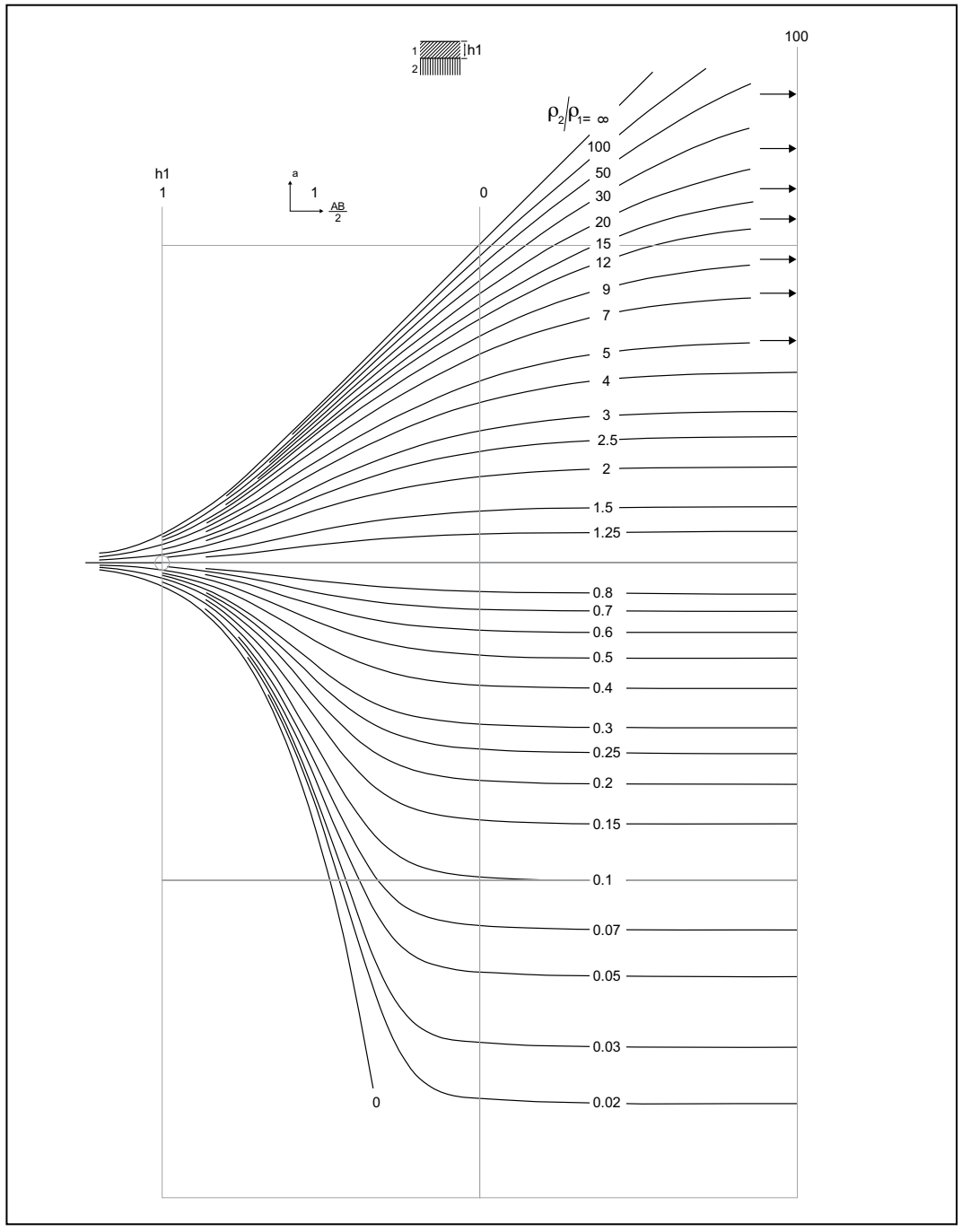
Observación – Dibujo

Sondeo nº:_____ Perfil puntual:_____ Dirección del sondeo: N_____

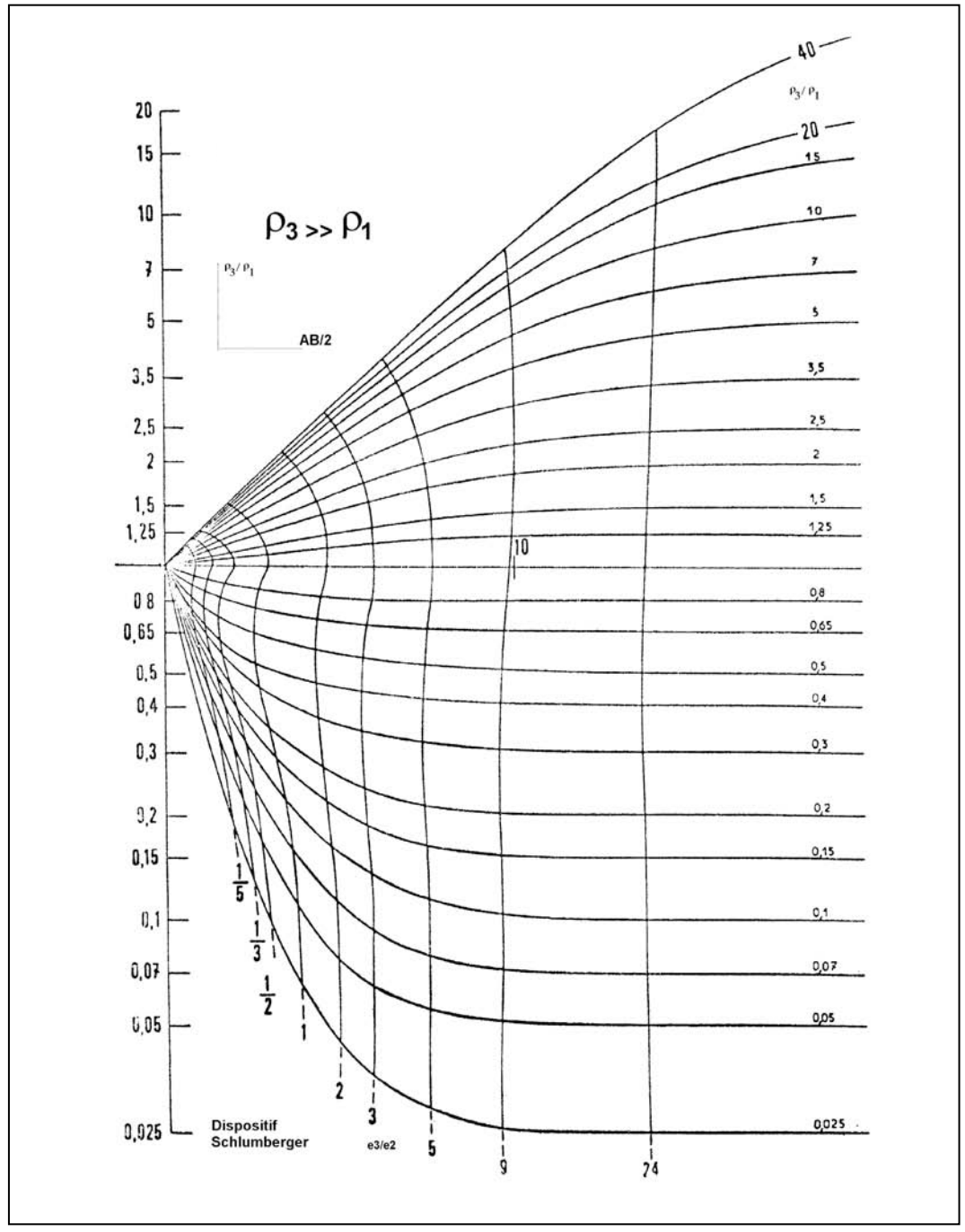
AB/2	MN = 2	MN = 10	MN = 40	ΔV (mV)	I (mA)	ρ_a hm – m
2	4,71					
3	12,5					
4	23,5					
5	37,7					
6	55					
8	99					
10	155					
15	352	62,8				
20	627	118				
25	980	188				
30	1412	275				
35	1922	377				
40	2511	495				
50	3925	780				
60	5653	1120				
70		1530				
80		2000	471			
100		3130	754			
120		4900	1100			
150		7050	1736			
175			2374			
200			3110			

C NOMOGRAMAS

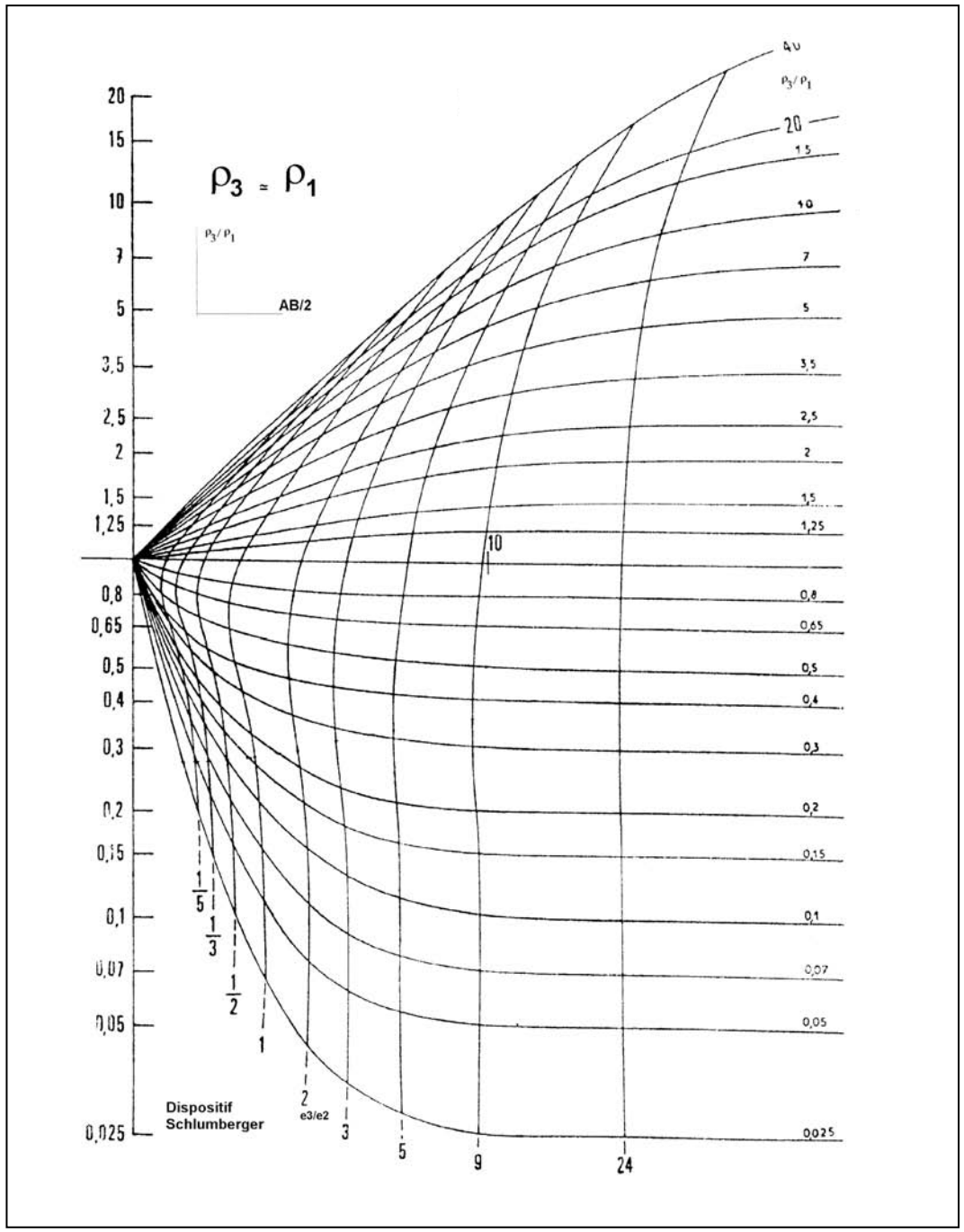
NOMOGRAMAS PARA LA INTERPRETACIÓN DE LOS SONDEOS ELÉCTRICOS SCHLUMBERGER



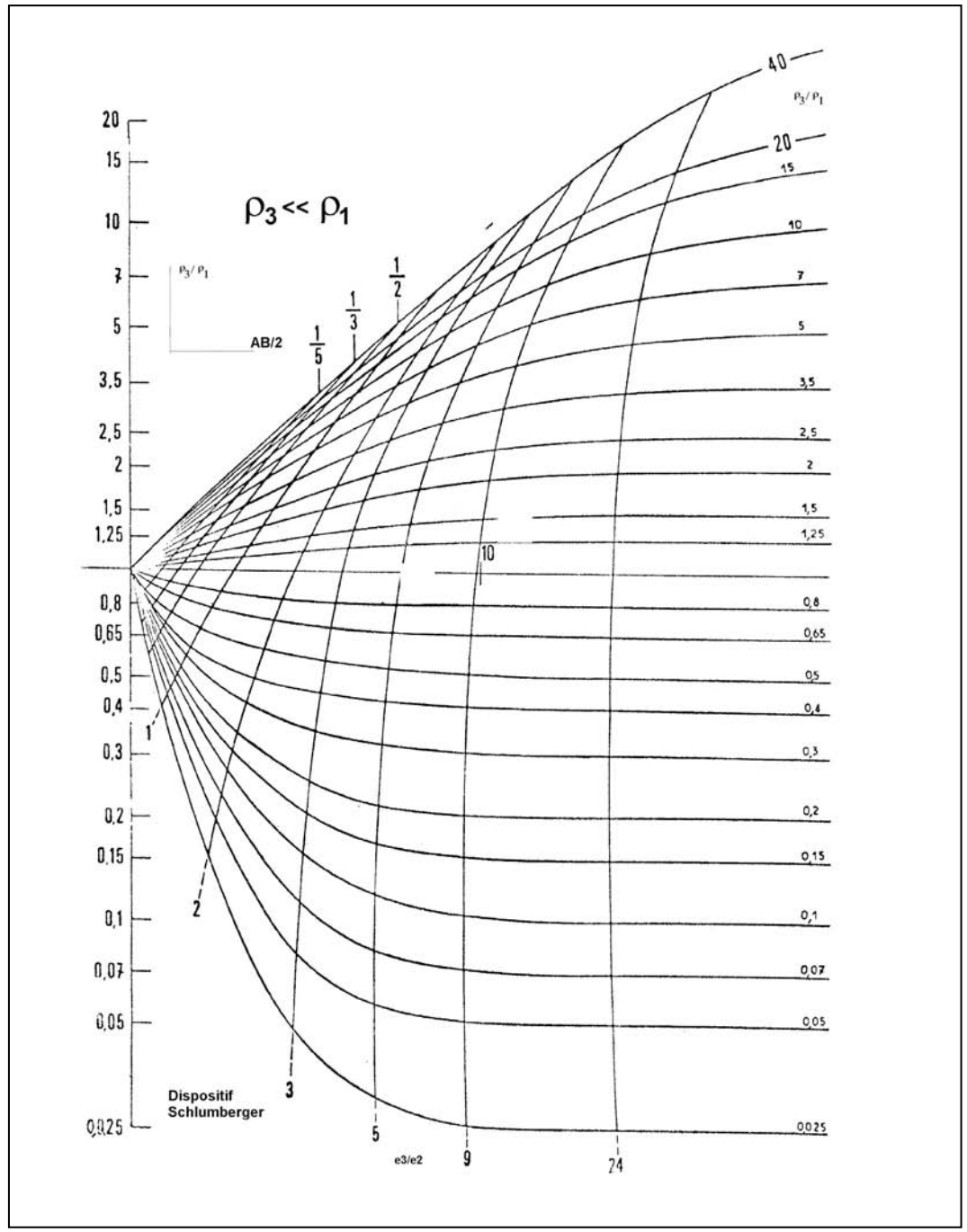
NOMOGRAMA DE DOS FORMACIONES
NOMOGRAMA AUXILIAR ($\rho_3 >> \rho_1$) (Configuración Schlumberger)



NOMOGRAMA AUXILIAR ($\rho_3 = \rho_1$) (Configuración Schlumberger)



NOMOGRAMA AUXILIAR ($\rho_3 << \rho_1$) (Configuración Schlumberger)



ANEXO 9

Registros de ensayos de bombeo

ENSAYOS DE BOMBEO DE TRES ETAPAS INDEPENDIENTES

Lugar:	Sondeo / Referencia del pozo:
Fecha:	Prueba realizadas por:
Características del pozo/sondeo Profundidad: Diámetro: Espesor del acuífero: Altura de la columna de agua: Rendimiento tras el desarrollo:	 SWL: /suelo SWL: /dato Altura suelo/dato: Nivel superior del filtro: /suelo

Etapa n° 1	**Descenso del nivel de agua**						**Recuperación**			
Hora (h:min.)	Tiempo transcurrido, (min)	Nivel de agua (m)	Rendimiento (m^3/h)	Conductividad (µS/cm)	T º	Notas	Hora (h:mn)	Tiempo transcurrido, (min)	Nivel de agua (m)	Descenso (m)
	0							0		
	3							3		
	5							5		
	10							10		
	15							15		
	20							20		
	30							30		
	40							40		
	50							50		
	60							60		
	80							80		
	100							100		
	120							120		

Etapa n° 2	**Descenso del nivel de agua**						**Recuperación**			
Hora (h:min.)	Tiempo transcurrido, (min)	Nivel de agua (m)	Rendimiento (m^3/h)	Conductividad (µS/cm)	T º	Notas	Hora (h:mn)	Tiempo transcurrido, (min)	Nivel de agua (m)	Descenso (m)
	0							0		
	3							3		
	5							5		
	10							10		
	15							15		
	20							20		
	30							30		
	40							40		
	50							50		
	60							60		
	80							80		
	100							100		
	120							120		

Etapa n° 3	**Descenso del nivel de agua**						**Recuperación**			
Hora (h:min.)	Tiempo transcurrido, (min)	Nivel de agua (m)	Rendimiento (m^3/h)	Conductividad (µS/cm)	T º	Notas	Hora (h:mn)	Tiempo transcurrido, (min)	Nivel de agua (m)	Descenso (m)
	0							0		
	3							3		
	5							5		
	10							10		
	15							15		
	20							20		
	30							30		
	40							40		
	50							50		
	60							60		
	80							80		
	100							100		
	120							120		

ENSAYO DE BOMBEO DE UNA ETAPA

Lugar:	Referencia del pozo/sondeo:
Fecha:	Pruebas realizadas por:

Características del pozo/sondeo	
Profundidad: Diámetro:	SWL: /suelo
Espesor del acuífero:	SWL: /dato
Altura de la columna de agua:	Altura suelo/dato:
Rendimiento tras el desarrollo:	Nivel superior del filtro: /suelo

Descenso del nivel de agua							Recuperación			
Hora (h:min.)	Tiempo transcurrido, (min)	Nivel de agua (m)	Rendimiento (m^3/h)	Conductividad (µS/cm)	T °	Notas	Hora (h:mn)	Tiempo transcurrido, (min)	Nivel de agua (m)	Descenso (m)
	0							0		
	3							3		
	5							5		
	10							10		
	15							15		
	20							20		
	30							30		
	40							40		
	50							50		
	60							60		
	80							80		
	100							100		
	120							120		
	140							140		
	160							160		
	180							180		
	200							200		
	220							220		
	240							240		

Notas:

Protección de los recursos de agua

1	**Aguas subterráneas**	729	**2**	**Aguas superficiales**	730
1.1	Migración de la contaminación bacteriana	729	2.1	Explotación de una corriente de agua	730
1.2	Zona de protección	729	2.2	Protección de un estanque	731
1.2.1	*Pozos excavados y perforados*	729	**3**	**Almacenamiento, transporte y extracción del agua**	731
1.2.2	*Manantiales*	729			

En los programas humanitarios, y en términos de salud pública, el riesgo de contaminación más frecuente del agua potable es el fecal. La protección de los recursos de agua consiste básicamente en la exclusión de las actividades contaminadoras en un área concreta alrededor del punto de agua y poner en práctica medidas que permitan mantener la calidad del agua desde el punto de extracción hasta el momento del consumo. Los recursos de agua se pueden dividir también en función de la vulnerabilidad a la contaminación (ver Capítulo IV).

1 AGUAS SUBTERRÁNEAS

1.1 Migración de la contaminación bacteriana

Ver Capítulo XIX, Sección 3.5.

1.2 Zona de protección

1.2.1 POZOS EXCAVADOS Y PERFORADOS

En un entorno uniforme, la zona de protección es el área que se extiende hasta 30 metros alrededor del punto de agua (Figura 1). Los focos de contaminación (letrinas, vertederos, fosas sépticas, etc.) deben situarse fuera de esta zona, y preferiblemente aguas abajo respecto del punto de agua. Es de la mayor importancia mantener una profundidad mínima de 2 m entre el fondo de la letrina y el nivel freático.

1.2.2 MANANTIALES

La zona de protección aguas arriba del manantial es también de 30 m (Figura 2). Se debe proteger con un cercado y preferiblemente con una valla.

Se debe cavar una zanja de 0,50 m de profundidad para desviar las escorrentías.

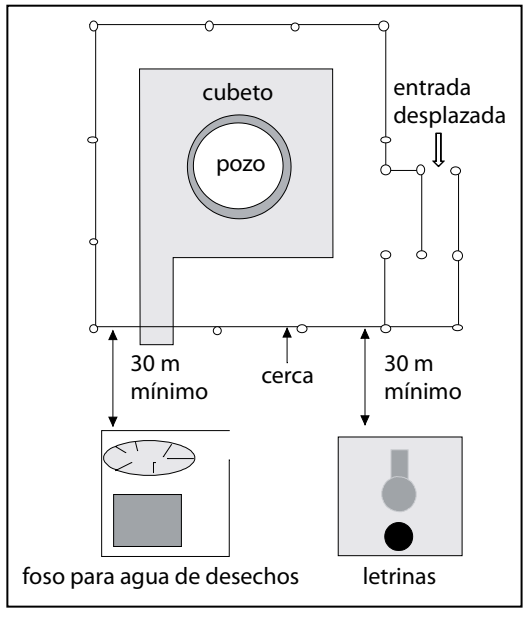


Figura 1:
Zona de protección de un pozo en un entorno uniforme.

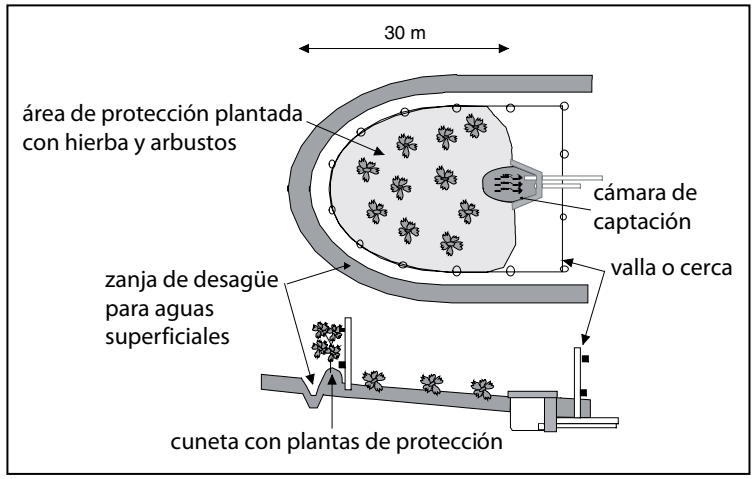


Figura 2:
Zona de protección de un manantial.

Para limitar la erosión de la zona de protección, que a veces tiene una pendiente muy acusada, se plantan arbustos u otras plantas (atención: no plantar árboles), lo que permite diferenciar esta zona de los alrededores.

2 AGUAS SUPERFICIALES

Es muy difícil proteger el agua superficial de la contaminación. Sin embargo, el acceso al agua superficial es fácil y se usa con frecuencia como un recurso de agua en situaciones de emergencia.

2.1 Explotación de una corriente de agua

La decisión sobre el asentamiento de una población en un lugar determinado es una decisión que raramente se toma libremente, la mayor parte de las intervenciones se realizan en sitios ya asentados. En las proximidades de una corriente de agua, una buena planificación tendría en cuenta la dirección del flujo del agua y los usos, hay que asegurarse que se limita la contaminación del curso de agua (por los desagües) situando las letrinas a más de 30 m de la corriente, aguas abajo respecto al asentamiento (Fig. 3).

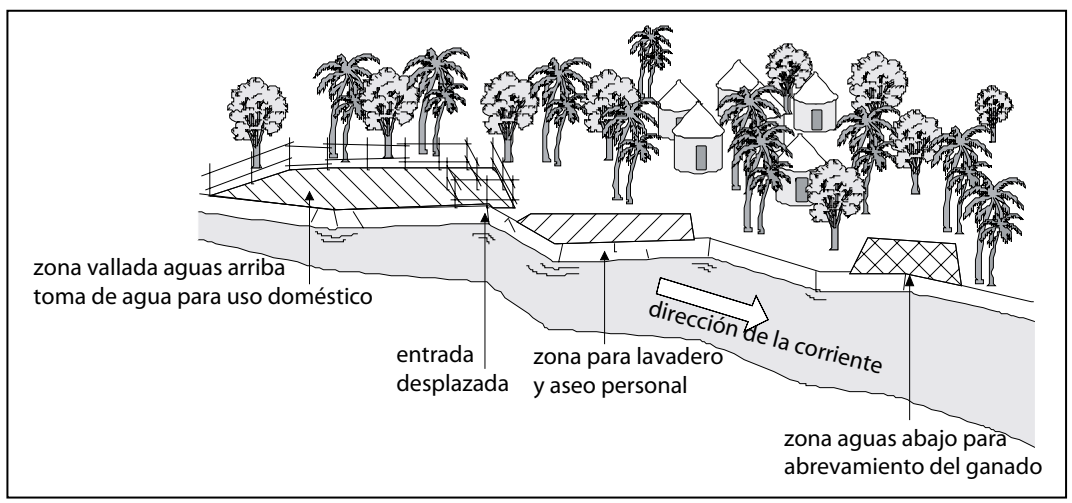


Figura 3: Ejemplo de la implantación de las áreas en un asentamiento.

El agua para uso doméstico se extrae aguas arriba, en una zona bien delimitada destinada a este uso; una valla o cerca con entrada en zig-zag mantiene apartados a los animales. Aguas abajo se organiza un área para lavadero de ropa (y aseo personal, abluciones). Mucho más lejos, aguas abajo, se reserva otra zona de abrevadero para los animales.

2.2 Protección de un estanque

En algunas áreas, como en África y Asia, los estanques son los únicos recursos de agua disponibles. Contienen agua superficial estancada, que presenta varios problemas: son difíciles de proteger, la contaminación permanece estática al no haber flujo, y tiene una capacidad limitada de absorber la contaminación orgánica.

En la Figura 4 adjunta se muestra un ejemplo de trabajos de protección llevados a cabo por ACF en Myanmar.

Figura 4:
Obras en un estanque (Myanmar, ACF 1997).

3 ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y EXTRACCIÓN DEL AGUA

A menudo, la contaminación del agua tiene lugar en el mismo punto de su extracción. Es importante, por tanto, proteger adecuadamente los pozos, manantiales y sondeos. El seguimiento de la calidad bacteriológica del agua de un sondeo llevado a cabo en la roca base por ACF (Sudan 1996-1997) mostró que había una relación entre la contaminación del agua y la calidad del sellado del sondeo y otros trabajos superficiales; los trabajos en superficie se indican en el Anexo 14 y en las secciones que tratan de los tipos específicos de puntos de agua.

Las medidas protectoras no se limitan al punto de agua: se deben aplicar hasta el mismo punto de consumo. Es necesario, por tanto, evitar la contaminación durante el transporte y almacenamiento.

Los recipientes han de permanecer cerrados y se han de limpiar regularmente (de ser posible con 10 ml de una solución de cloro - ver Capítulo VI). Es preferible usar bidones a cubos. Si se usan cubos, el agua se debe tomar con vasos u otro tipo de recipiente, que puede haber estado expuesto al contacto de las moscas, manos sucias, etc., mientras que si se usan bidones el agua se vierte en otros recipientes o se toma con un grifo.

Perforación

A	**EQUIPO DE PERFORACIÓN**	**733**	**6**	**Brocas de tres hojas, de cuatro hojas y triconos (2004)**	739
1	**Equipo de perforación rotativo ACF-PAT 201**	733	**7**	**Tubos y filtros de un sondeo de PVC roscado (2004)**	740
2	**Equipo de perforación rotativo ACF-PAT 301, mixto rotativo-DTH**	734	**B**	**REGISTRO DE LA PERFORACIÓN**	741
3	**Equipo de perforación ACF-PAT 401 PTO, mixto rotativo-DTH**	735	**C**	**ARCHIVO DE DESARROLLO**	742
4	**ACF-PAT 301 T**	736	**D**	**ARCHIVO DEL SONDEO**	743
5	**Martillo de fondo del sondeo (DTH)**	738			

A EQUIPO DE PERFORACIÓN

Este Anexo relaciona los materiales y el equipo necesario para los programas de perforación. Se han desarrollado equipos de perforación en colaboración con la firma PAT (Promotion of Appropriate Technology) radicada en Bangkok, Tailandia (e-mail: pat@pat-drill.com, página web: www.pat-drill.com).

Figura 1: Chasis de ACF-PAT 201.

1 EQUIPO DE PERFORACIÓN ROTATIVO ACF-PAT 201

El PAT 201 es el primero de la serie PAT, y el más antiguo. Su diseño (muy ligero y fácil de usar) y su coste lo hacen especialmente indicado para la perforación en terrenos sedimentarios no consolidados. La totalidad del equipo pesa menos de una tonelada y se puede transportar en una camioneta.

ACF ha desarrollado programas de perforación itinerante en Myanmar, transportando este equipo de aldea en aldea por barca, creando numerosos puntos de agua también en Camboya. Este equipo está particularmente indicado para áreas aisladas, tales como Bar El Gazal, en el sur de Sudán, donde se han perforado sondeos que han sido equipados con bombas manuales, o para la prospección de agua antes de perforar los pozos.

Figura 2: ACF-PAT 201. Brocas de tres elementos.

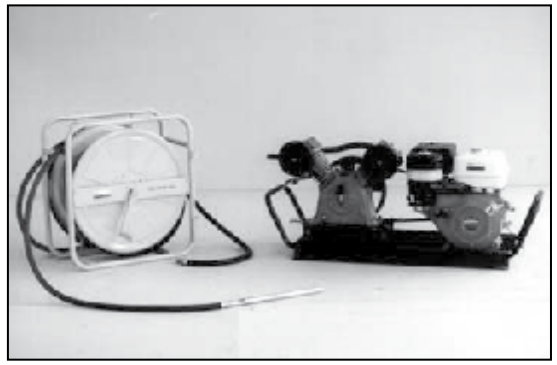


Figura 3: ACF-PAT 201. Compresor de desarrollo.

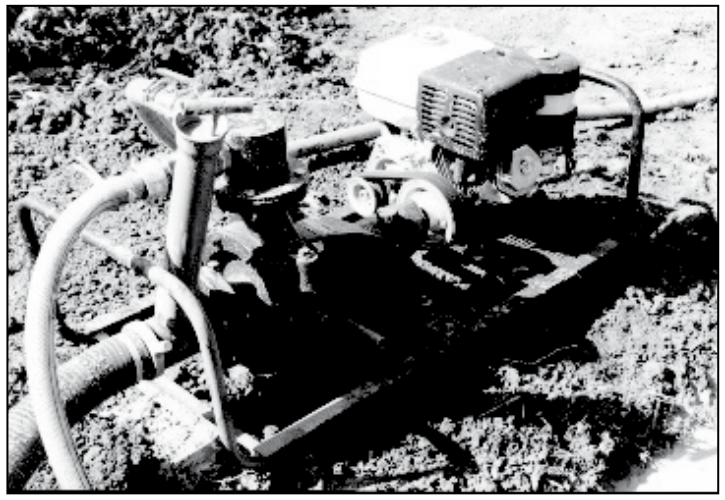


Figura 4: Bomba de lodos.

Con este diseño, el equipo permite un inicio rápido de cualquier programa de perforación. Además de los elementos propios de una máquina de perforación (chasis, bomba de lodos, compresor de desarrollo, tubos de perforación, brocas, etc.), hay herramientas, repuestos y consumibles propios de la perforación.

El equipo, en esta versión, puede perforar hasta 60 m de profundidad con un diámetro de 6"½. Se ha diseñado una versión mejorada para perforar a mayor profundidad.

2 EQUIPO DE PERFORACIÓN ACF-PAT 301, MIXTO ROTATIVO-DTH

El ACF-PAT 301 es un equipo de perforación transportable de percusión DTH-rotativo hidráulico, diseñado para trabajar en una gran variedad de contextos geológicos: formaciones no consolidadas (aluviones, formaciones de descomposición, etc.) y consolidadas (roca base, formaciones sedimentarias antiguas, etc.).

El equipo se compone de elementos separados: torre de perforación, unidad hidráulica, bomba de lodos y compresor. Esto facilita su transporte por áreas aisladas, o zonas de acceso difícil. Todos los componentes se suministran con el equipo (rodillos, martillo, brocas) así como algunos consumibles (aceite hidráulico, grasa, espuma, etc.). Este equipo se puede montar en una camioneta Toyota Land Cruiser o en un camión, o se puede montar directamente sobre el suelo.

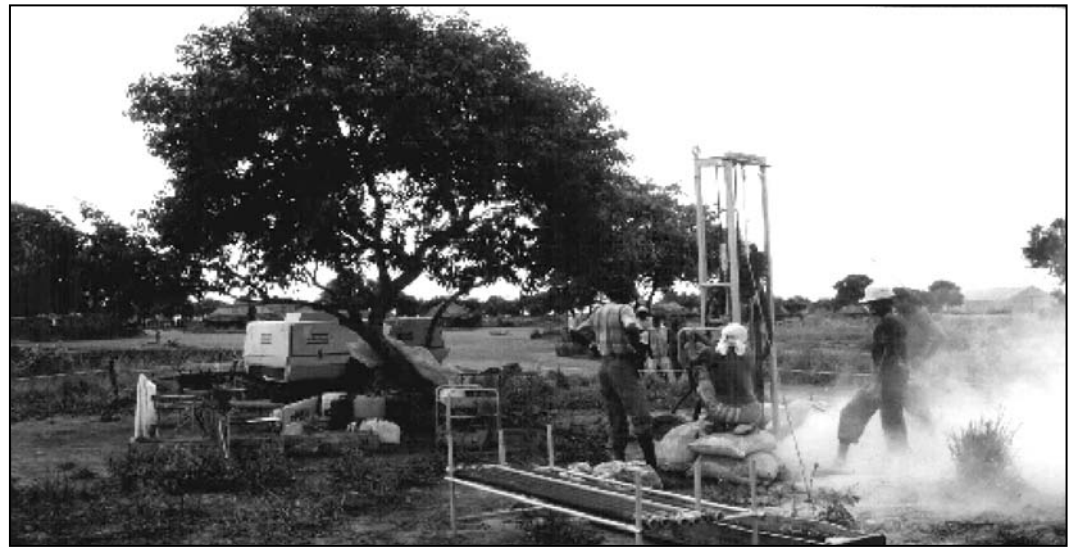


Figura 5: ACF-PAT 301. Equipo en el suelo.

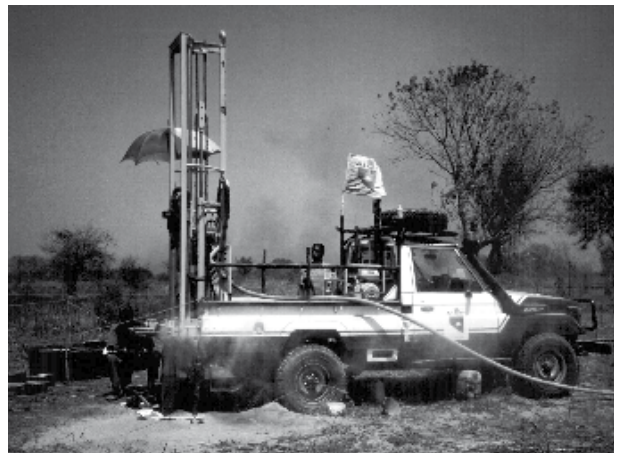


Figura 6: Equipo sobre un vehículo.

Figura 7: Equipo de perforación, bomba hidráulica, compresor.

3 EQUIPO DE PERFORACIÓN ACF-PAT 401 PTO, MIXTO ROTATIVO-DTH

El ACF-PAT 401 es un equipo de perforación instalado en una camioneta Toyota Land Cruiser o en un camión ligero Dyna. El equipo se acciona con el motor del vehículo por medio de una conexión que acciona las bombas hidráulicas para la rotación del cabezal de perforación, subiendo o bajando los tubos de perforación, los gatos estabilizadores y la bomba de lodos o de espuma. Este equipo se puede suministrar sobre una plataforma de perforación o directamente sobre el vehículo (Dyna).

El montaje sobre el Land Cruiser requiere algunos días de trabajo en el taller. Las modificaciones al vehículo son mínimas (refuerzo de los muelles, conexión con el motor y la instalación de la plataforma sobre el chasis).

Figura 8: ACF-PAT 401. Equipo sobre un camión Dyna.

Figura 9: Equipo sobre un Land Cruiser.

Este equipo es más potente que el 301, se maneja con mayor facilidad y el tiempo para iniciar la operación es menor. El vehículo se puede nivelar rápidamente con los gatos. Se puede usar en operación rotativa o en percusión DTH 5" (broca de 165 mm). La profundidad de perforación excede los 100 m en formaciones sedimentarias. ACF ha usado este equipo en Angola (versión Dyna) y Honduras (versión Land Cruiser).

4 ACF-PAT 301 T

El PAT-Drill 301 T es una combinación de un generador autónomo, almacén de tubos de perforación y bomba de espuma todo sobre un remolque de un solo eje. Esto permite un posicionamiento rápido en cualquier lugar y es un equipo multiuso ideal para cualquier operación de perforación de sondeos para agua.

Figura 10: ACF-PAT 301 T. Equipo en posición de perforación.

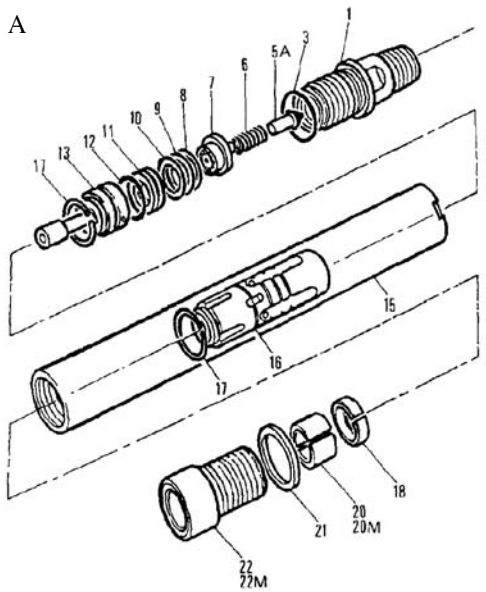
Figura 11: En posición de transporte.

5 MARTILLO DE FONDO DEL SONDEO (DTH)

Características técnicas:

- longitud 1012 mm
- diámetro externo 114 mm
- peso 54 kg
- diámetro de perforación de ACF brocas de 150 y 160 mm

A



referencia	*pieza*
1	racor
3	junta
5A	válvula de una vía
6	muelle de la válvula
7	filtro de la válvula de fondo
8	anillo calibrado
10	anillo calibrado
11	anillo calibrado
12	junta
13	distribucion
15	cilindro
16	percutor
17	junta de posicionamiento
18	anillo elastico
20	segmento
20M	segmento tipo Mission
21	arandela
22	pre-cilindro
22M	arandela tipo-Mission

B

Figura 12: Percutor del fondo del sondeo. A: lista de componentes del percutor DTH. B: broca.

6 BROCAS DE TRES HOJAS, DE CUATRO HOJAS Y TRICONOS (2004)

Diámetro (pulgadas)	(mm)	Paso de rosca	Coste unitario (€)	Diámetro (pulgadas)	(mm)	Paso de rosca	Coste unitario (€)
BROCAS DE TRES HOJAS				BROCAS DE CUATRO HOJAS			
4” a 4”3/8	—	2” 3/8R	148,70	3”1/8	79,38	NROD	190,00
4”1/2 a 4”7/8	—	2” 3/8R	158,62	3”1/4	82,55	NROD	189,00
5” a 5” 3/8	—	2” 3/8R	167,20	3” 1/2	88,90	NROD	194,40
5”1/2 a 5”7/8	—	2” 3/8R	172,91	3” 3/4	95,25	NROD	197,00
6” a 6”3/8	—	2” 3/8R	180,10	3” 7/8	98,43	NROD	202,00
		3”1/2R	230,10	4” 1/4	107,95	NROD	265,00
6”1/2 a 6”7/8	—	2”3/8R	185,77	4”3/4	120,65	NROD	295,00
		3” 1/2R	247,22				
7” a 7”3/8	—	3” 1/2R	278,70				
7”1/2 a 7”7/8	—	3” 1/2R	294,40				
8” a 8”3/8	—	3” 1/2R	310,10				
8”1/2 a 8”7/8	—	3” 1/2R	325,90				
9” a 9”3/8	—	3” 1/2R	341,60				
9”1/2 a 9”7/8	—	3” 1/2R	357,25				
10” a 10”3/8	—	3” 1/2R	371,60				
10”1/2 a 10”7/8	—	3” 1/2R	407,30				
11” a 11”3/8	—	3” 1/2R	437,30				
12” a 12”3/8	—	3” 1/2R	468,80				
12”1/2 a 12”7/8	—	3” 1/2R	484,50				
13” a 13”3/8	—	3” 1/2R	515,90				
13”1/2 a 13”7/8	—	3” 1/2R	547,40				
14” a 14”3/8	—	3” 1/2R	600,20				
14”1/2 a 14”7/8	—	3” 1/2R	628,76				

BROCAS TRICONO

Brocas tricono con muchos dientes pequeños usadas para formaciones duras				*Brocas tricono con dientes más largos usadas para formaciones más blandas*			
3”7/8	98,43	2” 3/8	270,00	3”	76,20	2”3/8	270,00
4”3/4	123,83	2” 7/8	356,00	3”1/2	88,90	2” 3/8	170,00
5”3/4	146,05	3” 1/2	418,00	3”7/8	98,43	2” 3/8	170,00
5”7/8	149,23	3” 1/2	482,00	4”	101,60	2” 3/8	192,92
6”	152,40	3” 1/2	580,00	4”1/4	107,95	2” 3/8	192,92
		4”1/2	114,30	2” 3/8	192,92		
		4”3/4	120,65	2” 7/8	204,00		
		4”7/8	123,83	2” 7/8	238,00		
		5”1/2	139,70	3” 1/2	297,00		
		5”7/8	149,23	3” 1/2	311,00		
		6”	152,40	3” 1/2	339,00		
		6”1/8	155,58	3” 1/2	370,00		
		6”1/4	158,75	3” 1/2	370,00		
		6”1/2	165,10	3” 1/2	370,00		
		6”3/4	171,45	3” 1/2	400,00		

7 TUBOS Y FILTROS DE UN SONDEO DE PVC ROSCADO (2004)

– Precio neto de fábrica.

– Longitudes básicas en almacén; suplementos para otras longitudes como sigue: 2,90 m 10%, 1,95 m 15%, 0,95 m 20%.

– Filtros con ranuras de 1 mm; suplementos para otros tamaños de ranuras: 0,75/1,5/2/3 mm 10%, 0,5 mm 15%, 0,2/0,36 mm 20%.

Dimensiones	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Peso (kg/m)	Resistencia (bar)	Longitud (m)	Tipo de junta	Precio (€/m)	
							liso	con rejilla
ND40, 1" ½	35 x 42	3,5	0,75	47	3,00	W	1,35	3,80
ND 50, 2"	52 x 60	4,00	1,05	23	3,00	W	3,13	4,72
ND 65, 2"1/2	64 x 75	5,50	1,90	30	1,90	N	5,52	7,50
ND 80, 3"	80 x 90	5,00	1,05	13	1,90	M	5,91	8,25
ND 100, 4"	104 x 114	5,00	1,50	6	2,90	M	7,07	9,94
ND 112, 4"1/2	112 x 125	6,50	3,50	8	1,90	M	9,28	11,28
ND 125, 5"	126 x 140	7,00	4,30	9	4	M	13,30	15,84
ND 150, 6"	150 x 165	7,50	5,40	7	4	M	15,37	19,07
ND 165, 6"1/2	163 x 180	8,50	6,50	8	4	M	18,74	23,26
ND 175, 7"	178 x 195	8,50	7,30	6	3	M	23,17	28,92
ND 175, 7"	180 x 200	10,00	8,50	9	3	M	23,17	28,92
ND 200, 8"	205 x 225	10,5	10,20	8	3	M	31,00	38,67
ND 225, 9"	225 x 250	11,5	13,40	9	3	M	45,00	51,00
ND 250, 10"	255 x 280	11,50	15,90	7	3	M	53,00	69,70
ND 300, 12"	286 x 315	14,50	20,30	8	3	M	60,00	84,00
ND 350, 14"	389 x 400	10,50	18,50	1	3	M	63,80	87,00

B REGISTRO DE LA PERFORACIÓN

REGISTRO PERFORACIÓN N° : .....

Lugar :
Coordenadas :
Responsable :

Operación : desde hasta
Taladro : Tiempo total :
Geólogo :

Profundidad (m)	Tiempo (min/tubo)	Descripción geológica (reacción al ClH)	Conductividad (µS/cm)	Agua encontrada (rendimiento estimado)	Observationes (tecnica de perforación, diámetro de broca, policol añadido, espuma)	Entibamiento
0						
2						
4						
6						
8						
10						
12						
14						
16						
18						
20						
22						
24						
26						
28						
30						
32						
34						
36						
38						
40						
42						
44						
46						
48						
50						

Profundidad : m Contexto hidrogeológico : Nivel dinámico del agua : m	Nivel estático del agua : m	Rendimiento estimado : m^3/h Conductividad : µS/cm
Altura Entibamiento del cabezal : m Entibamiento : m Tamaño ranura del filtro : m mm Tubo sedimentacióin : m	Diámetro entibamiento	Diámetro del sondeo Filtro de grava : l Tamaño : m Tipo :

Comentarios :

C ARCHIVO DE DESARROLLO

ARCHIVO DE DESARROLLO DEL POZO Nº							
Lugar:			Compresor		Trabajo: desde hasta		
Coordenadas:			Nivel estático del agua: m		Tiempo total:		
Supervisor:					Contexto hidrogeológico		
Profundidad del pozo: m							
Posición del filtro:							
	Profundidad (m)		Tiempo (min)	Rendimiento medido (l/s)	Nivel dinámico del agua (m)	Claridad del agua (arcilla, arena, etc.)	Conductividad (µS/cm)
	Tubería	Manguera					
Bombeo							
Lavado							
Bombeo							
Bombeo							
Lavado							
Bombeo							
Bombeo							
Lavado							
Bombeo							
Bombeo							
Lavado							
Bombeo							
Bombeo							
Lavado							
Bombeo							
Bombeo							
Lavado							
Bombeo							
Bombeo							
Lavado							
Bombeo							
Bombeo							
Lavado							
Bombeo							
Bombeo							
Lavado							
Bombeo							
Tiempo total de desarrollo:				Claridad del agua		Conductividad:	µS/cm
Caudal estimado: l/h				Nivel dinámico del agua: m			

Comentarios:

D ARCHIVO DEL SONDEO

EJEMPLO DE TERRENO			Provincia de Cunene	
LUGAR				
ADMINISTRACIÓN			COORDENADAS (UTM)	
Distrito:	Cuanhama		Norte:	8103291
Comuna:	Sede		Este:	545081
Localidad:	O'Chiunga		Mapa:	446
Nº pozo	38A/99/BC			
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				
POZO			BOMBA	
Profundidad (m):	31,08		Tipo:	Volanta
Nivel estátic o del agua (m):	12		Profundidad del cilindro:	27,8 m
Rendimiento (l/h):	600			
Nivel dinámico del agua (m):	24			
ACUÍFERO			AGUA	
Geología	Sedimentario/Poroso/Confinado		Calidad (E.Coli/100 ml):	0
Tipo de situación	De 18 a 29 metros		Conductividad (µS/cm):	1 068
			Piezometría:	No
ALREDEDOR DEL PUNTO DE AGUA				
MOBILIZACIÓN COMUNITARIA			POBLACIÓN	
Comité	Constituido el 22/12/1999		Personas:	900
INSTALACIÓN			Escuela:	5 km
Abrevadero	Para cabras		Puesto de salud:	No
Lavadero	Sí		Cabezas de ganado:	1 222
Vallado	Sí		Ovejas/cabras:	3 323
PERFORACIÓN				
MOBILIZACIÓN COMUNITARIA			TRABAJOS	
Comité	Constituido el 22/12/1999		10/06/1999 08:45	Comienzo
			10/06/1999 12:02	Fin
Suelo	Geología	Equipamiento	EQUIPAMIENTO	
Arcilla con arena media		Filtro	Taladro	PAT 401
Arcilla			Técnica de perforación:	Rotativa
Arcilla con arena media		Entibado	Fluido de perforación:	Policol
Arena gruesa			Broca (“):	8,5
Arcilla con arena fina y gruesa			Tubos:	PVC 4”1/2
			Entibado (m):	19
			Filtro (m):	11
			Tubo de sedimentación (m):	1
			Posicionadores	Sí
			Vol. paquete de grava (l)	320
			Diám. grava (mm)	2

Comentarios:

Hidráulica y unidades de medida

A	**HIDRÁULICA**	745	*5.1.1*	*Expresiones generales*	750
1	**Definiciones preliminares**	745	*5.1.2*	*Diagrama de Moody*	750
1.1	Magnitudes	745	*5.1.3*	*Fórmulas empíricas*	751
1.2	Regímenes en flujo forzado	746	5.2	Pérdidas de carga secundarias	752
2	**Diagrama de Moody**	747	**B**	**UNIDADES DE MEDIDA**	753
3	**Nomograma para determinar pérdidas de carga lineales en tuberías de plástico**	748	**1**	**Principales unidades**	753
4	**Nomograma para determinar pérdidas de carga en tuberías deacero galvanizado**	749	**2**	**Prefijos para múltiplos y submúltiplos de las unidades**	755
5	**Pérdidas de carga**	750	**3**	**Unidades habituales imperiales y de EE.UU. y sus conversiones**	756
5.1	Pérdidas de carga lineales	750			

A HIDRÁULICA

1 DEFINICIONES PRELIMINARES

1.1 Magnitudes

Parámetro	Unidad S.I.	Símbolo/Fórmula	Comentarios
Densidad	$kg \cdot s^2/m^4$	ρ	Con el agua a temperatura normal se puede usar el valor: $\rho = 101{,}9\ kg.s^2/m^4$
Viscosidad absoluta o Dinámica	$kg \cdot s/m^2$	μ	Para el agua a 20ºC y presión atmosférica, el valor es: $\mu = 1{,}025x10^{-4}\ kg.s/m^2$
Viscosidad cinemática	m^2/s	$\nu = \mu / \rho$	El valor varía con la temperatura

T(ºC)	$\nu(m^2/s)$
5	$1{,}52x10^{-6}$
10	$1{,}31x10^{-6}$
15	$1{,}14x10^{-6}$
20	$1{,}01x10^{-6}$
25	$0{,}90x10^{-6}$
30	$0{,}80x10^{-6}$
35	$0{,}73x10^{-6}$
40	$0{,}66x10^{-6}$

(normalmente se usa el valor a 20ºC)

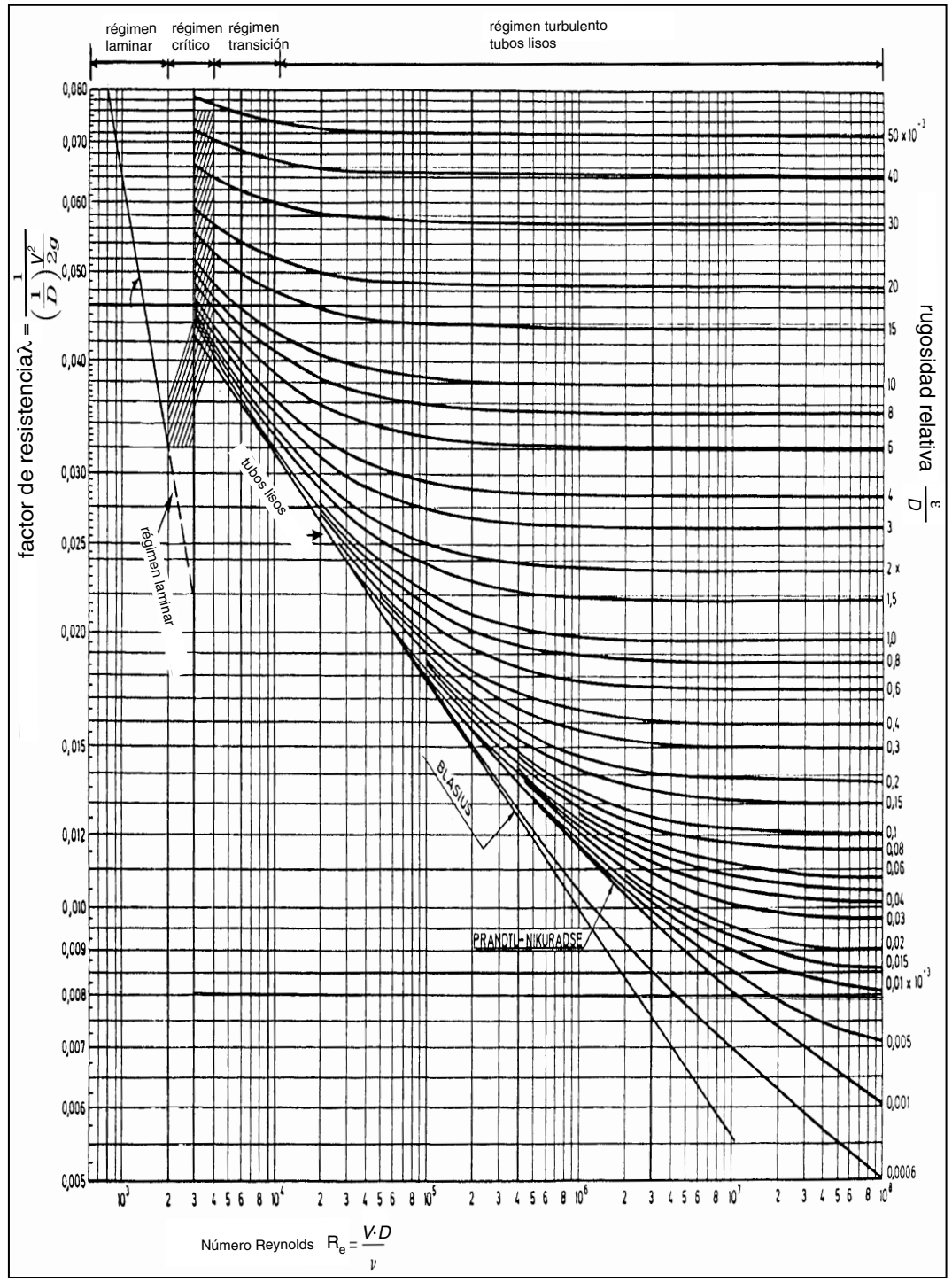
Número de Reynolds	Adimensional	$Re = DV/\nu$, donde D es el diámetro interno y V la velocidad	Es importante porque determina el campo de aplicación de las fórmulas empíricas.

Parámetro	Unidad S.I.	Símbolo/Fórmula	Comentarios
Rugosidad absoluta equivalente	M	ε	Parámetro experimental característico para cada tipo de tubo
Rugosidad relativa	Adimensional	ε/D	
Velocidad de fricción	m/s	$V^+ = V(f/8)^{1/2}$	
Número de la rugosidad Reynolds	Adimensional	$(Re)_r$ o R_r $(Re)_r = kV^+/\nu$	Usado para establecer el tipo de régimen de flujo (ver Sección 1.2)

1.2 Regímenes en flujo forzado

Régimen	Re	$(R_e)_r$	¿Qué ocurre?
Laminar	≤ 2 000		Prevalecen las fuerzas de la viscosidad
Transición	2 000 – 4 000		Desconocido, poco frecuente
Turbulento			
Suave	> 4 000	$(R_e)_r \leq 3{,}5 - 5$	Prevalecen las fuerzas de la viscosidad
Intermedio o transición		$5 < (R_e)_r \leq 70$	
Rugoso		$(Re)_r > 70$	Prevalecen las fuerzas de inercia

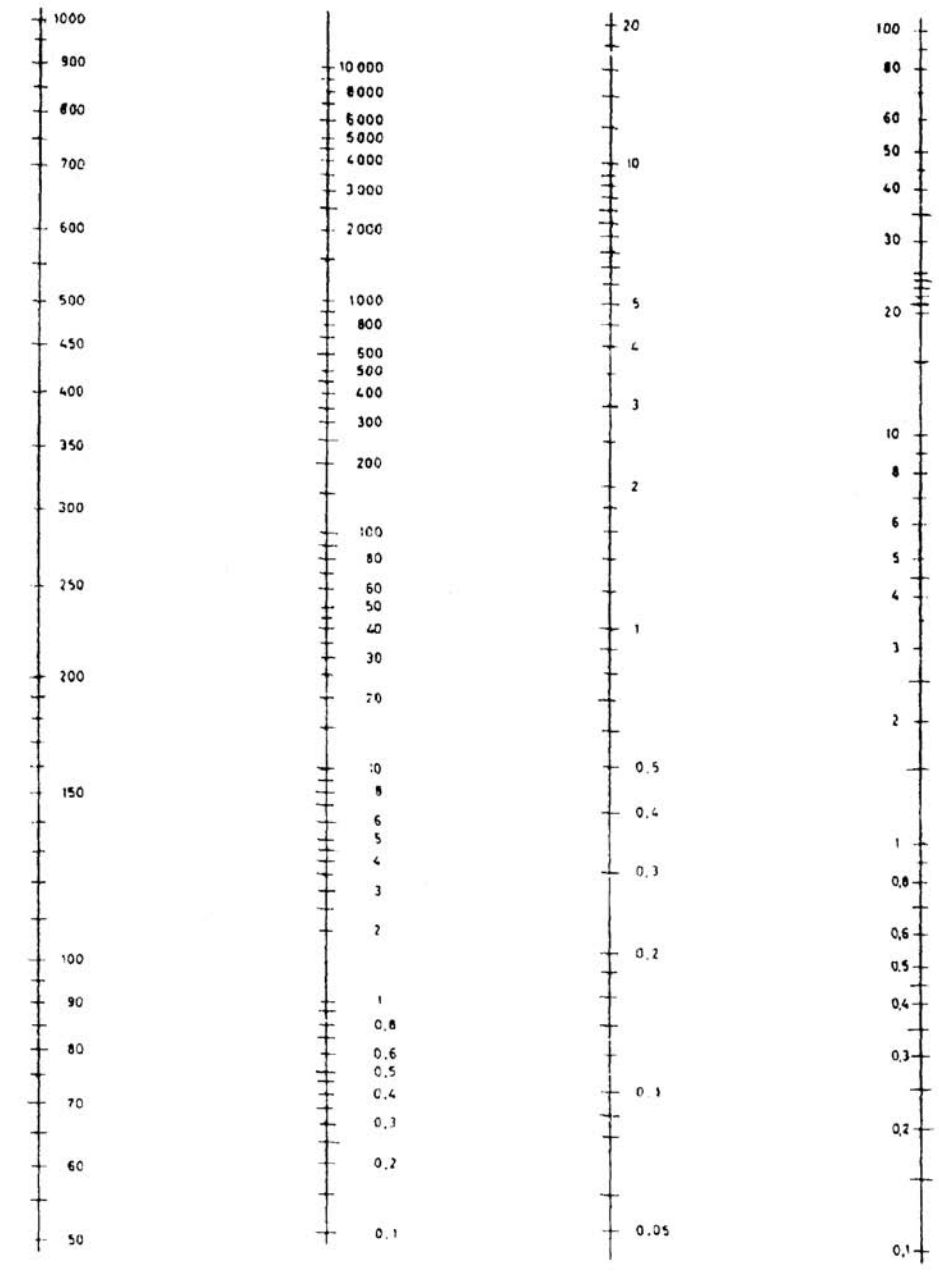
2 DIAGRAMA DE MOODY



3 NOMOGRAMA PARA DETERMINAR PÉRDIDAS DE CARGA LINEALES EN TUBERÍAS DE PLÁSTICO

Flujo en tuberías de plástico

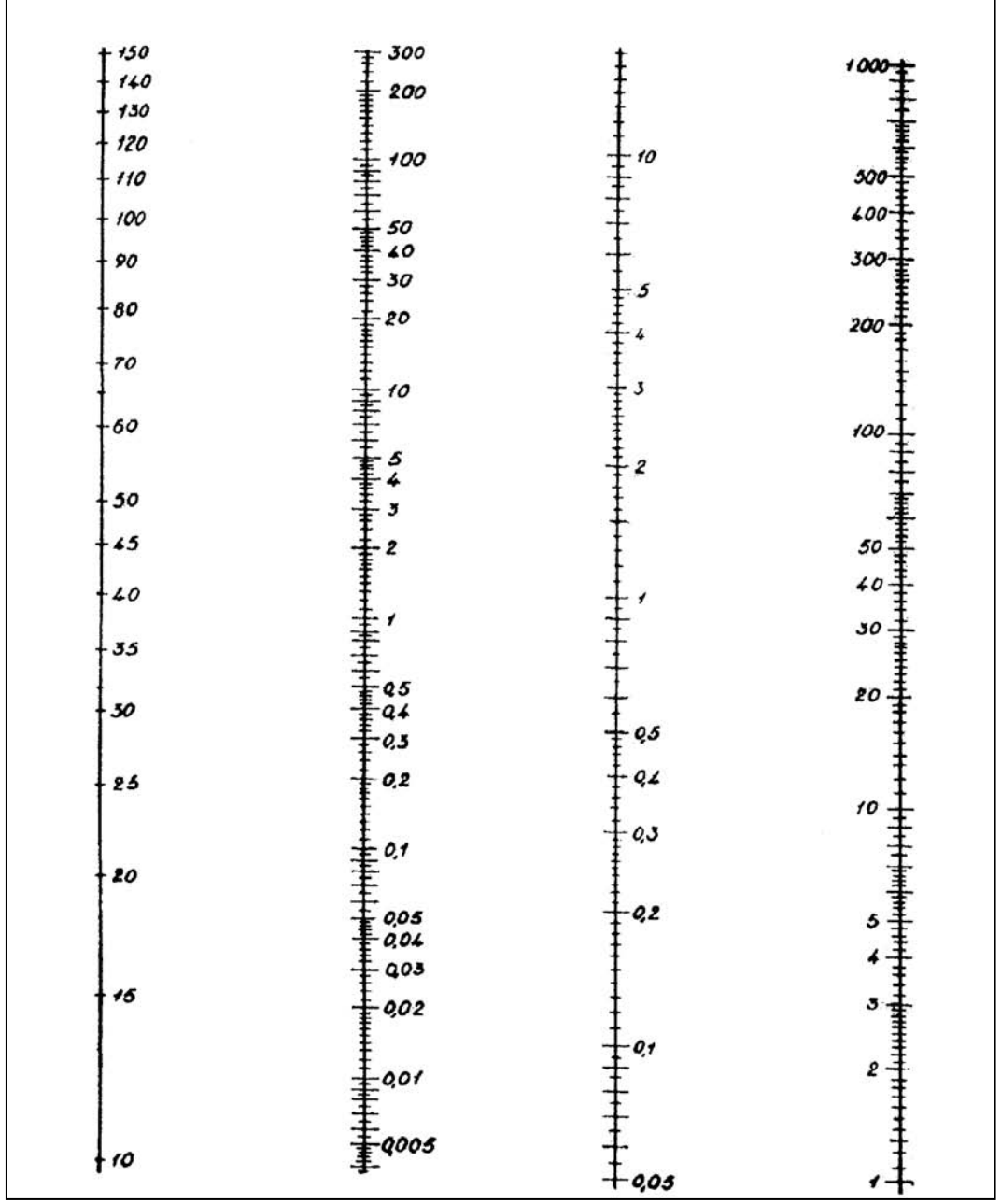
$$V = 75{,}0 \cdot D^{0{,}69} i^{0{,}156} \qquad Q = 58{,}9 \cdot D^{2{,}69} i^{0{,}561}$$



4 NOMOGRAMA PARA DETERMINAR PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS DE ACERO GALVANIZADO

Flujo en tuberías de acero galvanizado

$$V = 66{,}99 \cdot D^{0{,}752} i^{0{,}54} \qquad Q = 52{,}6 \cdot D^{2{,}752} i^{0{,}54}$$



5 PÉRDIDAS DE CARGA

5.1 Pérdidas de carga lineales

5.1.1 EXPRESIONES GENERALES

La ecuación general para las pérdidas de carga se escribe:

$$\Delta H = \lambda\, (L/D) / (V^2/2gD)$$

donde H es la pérdida de carga (o pérdida de energía) (m), λ el coeficiente de pérdida de carga (adimensional), D el diámetro interno del tubo (m) y L la longitud del tubo (m).

En un tubo, las pérdidas de carga por unidad de longitud son:

$$\Delta H = \lambda\, V^2 / 2gD$$

Para calcular las pérdidas de carga lineales numéricamente, el único factor desconocido es λ, el coeficiente de pérdida de carga, que viene dado por varias fórmulas (Lencastre 1995):

– en régimen laminar:

$$\lambda = 64/Re$$

– en regímenes turbulentos, para tuberías de paredes finas, hay varias fórmulas.

Una que se ha considerado válida durante mucho tiempo es la ecuación de Blasius:

$$\lambda = 0{,}3164 / Re^{0{,}25}$$

– en regímenes turbulentos, para tuberías de paredes rugosas, la fórmula más usada es la de Colebrook-White:

$$1/\lambda^{1/2} = -2 \log_{10} (\varepsilon/3{,}7D + 2{,}51/Re\, \lambda^{1/2}),$$

en la que ε es la rugosidad absoluta de la tubería. Por tanto, la única dificultad en el cálculo de la pérdida de carga con esta fórmula reside en la elección del coeficiente de rugosidad ε. Los valores presentados en la Tabla I los propone Degrémont (1989).

5.1.2 DIAGRAMA DE MOODY

Moody estableció un nomograma en el que λ viene dado en función de Re y ε/D (la rugosidad relativa), basando su trabajo en un gran número de pruebas, y en las fórmulas propuestas para el cálculo de las pérdidas de carga. Este nomograma es importante porque es aplicable a cualquier tipo de fluido y a cualquier tipo de flujo (laminar, transición o turbulento).

En la práctica, es el nomograma universal recomendado aquí. El procedimiento es como sigue:

– calcular Re, fijando la velocidad del flujo a 1 m/s;

– calcular la viscosidad relativa ε/D;

– transferir estos valores al diagrama de Moody, de forma que se pueda obtener el coeficiente λ;

– calcular las pérdidas de carga usando la formula general $\Delta H = \lambda\, (L/D)(V^2/2g)$;

– como verificación, λ se calcula con la fórmula Colebrook-White. En realidad, esta fórmula demuestra ser válida casi siempre y es, por tanto, la mejor para este tipo de cálculo. La Tabla II da λ/D basada en la fórmula Colebrook-White.

Tabla I: Valores de la rugosidad absoluta de varios materiales (Degrémont 1989).

Materiales	ε en mm
Acero nuevo	0,1
Fundición nueva	0,1 a 1
Plástico	0,03 a 0,1
Cemento, moldes finos	0,2 a 0,5
Cemento, moldes rugosos	1 a 2

Tabla II: Coeficiente de pérdida de carga en tuberías

Diámetro de Tubo (m)	Coeficiente λ/D dependiendo del valor de ε (rugosidad absoluta)			
	ε = 0,1 mm	ε = 0,5 mm	ε = 1 mm	ε = 2 mm
0,025	1,26	2	2,84	
0,03	1,02	1,54	2,00	2,71
0,04	0,70	1,04	1,34	1,80
0,05	0,528	0,78	0,985	1,3
0,065	0,35	0,50	0,615	0,80
0,08	0,29	0,413	0,512	0,66
0,1	0,222	0,31	0,38	0,49
0,125	0,168	0,232	0,284	0,36
0,150	0,133	0,182	0,223	0,28
0,200	0,0935	0,128	0,153	0,19
0,250	0,071	0,096	0,114	0,141
0,300	0,0573	0,076	0,09	0,11
0,350	0,0475	0,0625	0,0735	0,09
0,400	0,04	0,0530	0,0625	0,0758
0,450	0,0351	0,0460	0,0538	0,065
0,500	0,0308	0,04	0,047	0,0566
0,600	0,0245	0,0322	0,0371	0,0477
0,700	0,0206	0,0266	0,0307	0,0368
0,800	0,0175	0,0225	0,0260	0,0310
0,900	0,0151	0,0194	0,0225	0,0267
1,000	0,0134	0,0170	0,0197	0,0234
1,100	0,01163	0,015	0,01754	0,0209
1,200	0,0104	0,01358	0,01583	0,01875
1,250	0,0102	0,013	0,015	0,0177
1,300	0,00946	0,0123	0,0142	0,01676
1,400	0,00878	0,01128	0,01307	0,01535
1,500	0,00827	0,0104	0,012	0,014
1,600	0,00737	0,00956	0,01106	0,0131
1,700	0,00694	0,00882	0,0103	0,01235
1,800	0,00655	0,00833	0,00966	0,0111
1,900	0,00605	0,00773	0,00894	0,0104
2,000	0,00586	0,00735	0,0084	0,0098

5.1.3 FÓRMULAS EMPÍRICAS

Para hallar pérdidas de carga lineales, hay muchos nomogramas basados en fórmulas empíricas. Las que se encuentran en Lencastre (1995) contienen gran cantidad de nomogramas que permiten calcular pérdidas de carga en tubos de hierro galvanizado:

$$V = 66{,}99\, D^{0{,}752}\, i^{0{,}54} \quad \text{y} \quad Q = 52{,}6\, D^{0{,}752}\, i^{0{,}54}$$

y en tuberías de plástico:

$$V = 75\, D^{0{,}69}\, i^{0{,}156} \quad \text{y} \quad Q = 58{,}9\, D^{2{,}69}\, i^{0{,}561}$$

en las que V es la velocidad del agua (m/s), D el diámetro interno del tubo e i el coeficiente de pérdida de carga (m/km).

5.2 Pérdidas de carga secundarias

Según Lencastre (1995), se puede escribir la expresión para las pérdidas de carga secundarias como:

$$\Delta H = KV^2/2g$$

En el que K es un parámetro que depende del Re y el ε, pero básicamente de la geometría del accidente (curvatura, codo, empalme, etc.). Estas pérdidas de carga se pueden despreciar cuando la longitud del tubo entre dos accidentes es superior a cien diámetros.

Los principales coeficientes de las pérdidas de carga secundarias corresponden a un estrechamiento brusco, tal como la salida de un tanque (Figura 1), un codo (Figura 2), y una T (Figura 3).

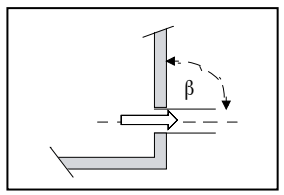


Figura 1: Coeficiente de pérdida de carga en función del ángulo β entre el tubo y la pared a la salida del tanque.

β	20°	30°	45°	60°	70°	80°	90°
K	0,96	0,91	0,81	0,70	0,63	0,56	0,50

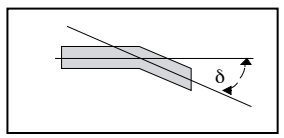
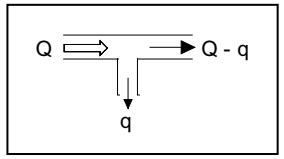


Figura 2: Coeficiente de pérdida de carga en función del ángulo δ de una curvatura.

δ	22.5°	30°	45°	60°	75°	90°
K	0,17	0,20	0,45	0,70	1	1,50



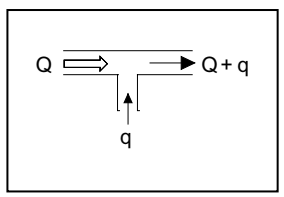


Figura 3: Coeficiente de pérdida de carga en función de la división del flujo en una T.
A: flujo saliente por q.
B: flujo entrante por q.

A

q/Q	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Kq		1	1,01	1,03	1,.05	1,09	1,15	1,22	1,32	1,38	1,40
K_{Q-q}	0	0,004	0,02	0,04	0,06	0,10	0,15	0,20	0,26	0,32	

B

Q/(Q+q)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Kq		–0,37	–0,18	–0,07	0,26	0,46	0,62	0,78	0,94	1,08	1,20
K_{Q+q}	0	0,16	0,27	0,38	0,46	0,53	0,57	0,59	0,60	0,59	0,50

B UNIDADES DE MEDIDA

1 PRINCIPALES UNIDADES

Las unidades del Sistema Internacional (SI) se dan en negrita.

Magnitud	Unidad	Símbolo Estándar	Expresión en unidades básicas	Expresión en otras unidades
ESPACIO				
Longitud	**metro**	**m**		
	micra	µm	10^{-6} m	
	pulgada	in ó "	2,54 x 10^{-2} m	
Área	metro cuadrado	m^2		
	área	a	100 m^2	
	hectárea	ha	10 000 m^2	
	acre	ac	4 047 m^2	
Volumen	metro cúbico	m^3		
	litro	l		$10^{-3}m^3$ ó $1dm^3$
Angulo plano	radián	rad		
	grado	º		(π/180) rad
	minuto	'		(1/60) º
	segundo	"		(1/60)'
	grade	gr		(π/200)rad
TIEMPO				
Tiempo	**segundo**	**s**		
	minuto	min	60 s	
	hora	h	3 600 s	
	día	d	8 400 s	
	año	a	3,16 x 10^7 s	
Frecuencia	herzio	Hz	s^{-1}	
MASA				
Masa	**kilogramo**	**kg**		
Densidad	kilogramo por metro cúbico	$kg \cdot m^{-3}$		
Volumen específico	metro cúbico por kilogramo	$m^3\ kg^{-1}$		
VELOCIDAD				
Velocidad	metro por segundo	$m \cdot s^{-1}$		
Velocidad angular	radianes por segundo	$rad \cdot s^{-1}$		
MECÁNICA				
Aceleración	metro por segundo al cuadrado	$m \cdot s^{-2}$		
Fuerza, peso	newton	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$	
	dina	din		10^{-5} N
	kilo-fuerza	kfg		9,81 N
Momento de una fuerza	newton por metro	Nm	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$	
Energía, calor, trabajo	julio	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	

Magnitud	Unidad	Símbolo Estándar	Expresión en unidades básicas	Expresión en otras unidades
	kilográmetro	kgm		9,81 J
	caloría (pequeña)	cal_{15}		4,1855 J
	caloría (grande)	cal		4,1868 J
	kilocaloría	kcal		4186,8 J
	watio-hora	Wh		3600 J
	electrón-voltio	eV	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$	$1,60219 \times 10^{-19}$ J
Flujo de masa	kilográmetro por segundo	$kg \cdot m \cdot s^{-1}$		
Potencia	watio	W		
	caballo de vapor	HP		735,499 W
Flujo térmico	watios por metro cuadrado	$W \cdot m^{-2}$		
Presión, fuerza	pascal	Pa	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$	$N \cdot m^{-2}$
	baria	bar		105 Pa
	atmósfera normal	atm		101,325 Pa
	milímetro de agua	mmH_2O		9,81 Pa
	milímetro mercurio	mmHg		33,322 Pa
Viscosidad dinámica	pascal por segundo	$Pa \cdot s$		
	poise	P		10^{-1} Pa·s
	poiseuille	Pl		1 Pa.s
Viscosidad cinemática	metros cuadrados por segundo	$m^2 \cdot s^{-1}$		
	stokes	St	$10^{-4} m^2 \cdot s^{-1}$	
Temperatura Termodinámica	**grado kelvin**	**ºK**		
CALOR				
Temperatura	grado Celsius	ºC		T(ºC) = T(ºK) = +273,15
Capacidad térmica	julio por ºkelvin	$J \cdot K^{-1}$		
Conductividad térmica	watio por metro por ºkelvin	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$		
ÓPTICA				
Intensidad lum.	**candela**	**cd**		
Flujo luminoso	lumen	lm		cd.sr
Iluminancia	lux	lx		$lm \cdot m^{-2}$
Luminancia	candela/m^2	$cd \cdot m^{-2}$		
	lambert	L		$3,183 \times 10^3 cd \cdot m^{-2}$
MAGNETISMO-ELECTRICIDAD				
Intensidad de corriente eléc.	**amperio**	**A**		
Carga eléctrica	culombio	C	A·s	
	faraday			$9,64870 \times 10^4$C
Voltaje, potencial	voltio	V	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	$W \cdot A^{-1}$
Campo eléctr.	voltio/metro	$V \cdot m^{-1}$		
Capacitancia el.	faradio	F	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$	$C \cdot V^{-1}$
Energía electr.	kilowatio-hora	$kW \cdot h$		$3,6 \times 10^6$ J
Campo magnético	amperio/metro	$A \cdot m^{-1}$		
Inducción mag.	tesla	T	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	$Wb \cdot m^{-2}$
	gauss	G		10^{-4}T
Flujo de inducción magnetica	weber	Wb	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot a^{-1}$	V·s
	maxwell	Mx		10^{-8} Wbs
Inductancia	henry	H	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$	$Wb \cdot A^{-1}$
Resistencia, impedancia	ohmio	Ω	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$	$V \cdot A^{-1}$
Conductancia	siemens	S	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^{-2}$	$A \cdot V^{-1} \cdot \Omega^{-1}$
Resistividad	mho	mho		S^{-1}
	ohmio metro	$\Omega \cdot m$	$m^3 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$	
Conductividad	siemens/metro	$S \cdot m^{-1}$	$m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^3 vA^{-2}$	

Magnitud	Unidad	Símbolo Estándar	Expresión en unidades básicas	Expresión en otras unidades
FÍSICA-QUÍMICA				
Cantidad de sustancia	mol	mol	$6,023 \times 10^{23}$ átomos	
Masa molar	kilogramo/mol	$kg \cdot mol^{-1}$		
Volumen molar	metro cúbico/mol	$m^3 \cdot mol^{-1}$		
Densidad	kilogramo por	$kg \cdot m^3$	(número de moles x masa molar)/volumen de la solución	
	parte por millón	ppm	(número de moles x masa molar)/masa de la solución	
	miliequivalente por litro	$meq \cdot l^{-1}$	(número de moles x cargas iónicas)/volumen de la solución	
Concentración molar, molaridad	moles por m^3	$mol \cdot m^3$	número de moles/volumen de la solución	
Molalidad	moles por kg.	$mol \cdot kg^{-1}$	número de moles/masa de la solución	

2 PREFIJOS PARA MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS DE LAS UNIDADES

Factor multiplicador	Prefijo	Símbolo
10^{12}	tera	T
10^{9}	giga	G
10^{6}	mega	M
10^{3}	kilo	k
10^{2}	hecto	h
10	deca	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	µ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

3 UNIDADES HABITUALES IMPERIALES Y DE EE.UU. Y SUS CONVERSIONES

unidad	símbolo	equivalencias	conversión
LONGITUD			
pulgada	in or "		1 in = 0.0254 m
pie	ft or '	1 ft = 12 in	1 ft = 0.3048 m
milla	ml	1 ml = 1 760 yds	1 ml = 1 609.35 m
yarda	yd	1 yd = 3 ft	1 yd = 0.9144 m
ÁREA			
pulgada cuadrada	sq in		1 sq in = $6.452.10^{-4}$ m^2
pie cuadrado	sq ft	1 sq ft = 144 sq in	1 sq ft = 0.0929 m^2
acre	ac	1 ac = 4 840 yd^2	1 ac = 4 047 m^2
VOLUMEN			
pinta británica	UK pt		1 UK pt = 0.5683 l
galón imperial	UK gal	1 UK gal = 8 UK pts	1 UK gal = 4.546 l
pinta USA	US pt		1 US pt = 0.473 l
galón USA	US gal	1 US gal = 8 US pt	1 US gal = 3.785 l
pie cúbico	cu ft		1 cu ft = 2.832×10^{-2} m^3
CAUDAL			
galón imperial por segundo	UK gps		1 imp gps = 4.546×10^{-3} $m^3.s^{-1}$
galón USA por segundo	US gps		1 US gps = 3.785×10^{-3} $m^3.s^{-1}$
pies cúbicos por segundo	$ft^3.s^{-1}$		1 $ft3.s^{-1}$ = 2.832×10 $m^3.s^{-1}$
MASA			
onza	oz		1 oz = 28.350 g
libra	lb	1 lb = 16 oz	1 lb = 453.592 g
tonelada larga	UK ton	1 UK ton = 2 240 lb	1 UK ton = 1 016 kg
tonelada corta	US ton	1 US ton = 2 000 lb	1 US ton = 907 kg
FUERZA			
libra-fuerza	lbf		1 lbf = 0.0448 N
pie-libra por segundo al cuadrado	pdl		1 pdl = 0.138 N
PRESIÓN			
libra fuerza por pulgada cuadrada	psi		1 psi = 6 894.76 Pa
ENERGÍA			
unidad térmica británica	BTU		1 BTU = 1 055.06 J

Aarchivos de productos para el tratamiento del agua

1	**Productos para desinfección**	757
2	**Productos para la floculación**	758

1 PRODUCTOS PARA DESINFECCIÓN

HIPOCLORITO DE CALCIO, HTH, DE 65 % DE CLORO ACTIVO	
Precio indicativo	de 3 a 6 €/kg para una tm. En bidones de 50 kg
Aspecto	gránulos blancos
Densidad aparente	0,9 a 1 kg/l
Solubilidad en agua a 27ºC	217 g/l
Tamaño de grano	de 1 a 2,5 mm
Aplicación	El producto se conserva bien (con una merma del 2% de cloro activo por año) en un recipiente no metálico, sellado, mantenido al resguardo de la luz y del calor. Muy corrosivo, sujeto a regulaciones estrictas para el transporte aéreo. Se requiere un embalaje especial.
TRICLORO CIANURATO, TCCA (CITERNET), DE 90 % DE CLORO ACTIVO	
Precio indicativo	de 3 a 4,50 € por flotador de 70 gr en pallet
Aspecto	tabletas sólidas blancas
Olor	a cloro
Solubilidad en agua	12 g/l
Duración de la disolución (tabletas)	de 2 a 4 semanas
Capacidad	una tableta de 35 gr trata 3 000 l de agua
Aplicación	disponible en forma de un flotador de PVC ligero con dos vainas, conteniendo una tableta de 35 gr. cada una para añadirse al agua tras la apertura. Tratamiento para un período limitado de tiempo (máximo de tres meses). Evitar el uso prolongado.
DICLORO ISOCIANURATO SÓDICO (NADCC)	
Aspecto	tabletas efervescentes que liberan ácido hipocloroso.
Capacidad	tabletas de 3,5 g 8 680 mg para tratar desde 1 a 2 500 l de agua.
Aplicación	conveniente, eficiente, especialmente en emergencias. Las mismas restricciones en la duración del tratamiento que el TCCA. Se puede transportar en aviones.

2 PRODUCTOS PARA LA FLOCULACIÓN

SULFATO DE ALUMINIO AL 17 % Al_2O_3	
Precio indicativo	4 € por kg en sacos de papel de 50 kg
Aspecto	bloques, barras, gránulos, polvo
Solubilidad	688 g/l
Densidad	1 t/m^3
Aplicación	50 kg de producto pueden tratar de 300 a 2 500 m^3 de agua. pH de aplicación 6 – 8.
SULFATO DE HIERRO AL 90 % $(SO_4)_3Fe_2$ ó 26 % Fe	
Aspecto	gránulos, cristales, terrones
Aplicación	rango de aplicación más amplio que el sulfato de aluminio (pH 4,5 a 9). Almacenamiento en bidones impermeables protegidos de la humedad. Usar recipientes protegidos contra la corrosión. Peligro de dar color si el agua a tratar tiene un contenido elevado de materia orgánica.

Ingeniería civil

1 Mortero, mampostería, hormigón y hormigón armado 759
1.1 Mortero 760
1.1.1 Aplicaciones y mezclas 760
1.1.2 Uso y aplicaciones 761
1.2 Mampostería 761
1.2.1 Aplicaciones 761
1.2.2 Uso y precauciones 761
1.2.3 Bloques de mortero prefabricados 761
1.3 Hormigón 764
1.3.1 Aplicaciones 764
1.3.2 Mezclas 764
1.3.3 Estimación de las cantidades de material requerido 764
1.3.4 Contenido en agua del hormigón, separación de los ingredientes 765
1.3.5 Uso y precauciones 765
1.3.6 Juntas de hormigón 766
1.4 Acero para reforzar el hormigón (hormigón armado) 767
1.4.1 Propiedades de los aceros de refuerzo 767
1.4.2 Colocación, anclaje, solape 767
2 Cálculos estructurales rápidos 769
2.1 Cálculos de cargas 769
2.2 Elementos del hormigón armado 769
2.2.1 Definiciones 769
2.2.2 Pilares 770
2.2.3 Vigas 770
2.2.4 Losas (forjados) 771
2.2.4.1 Losa rectangular sobre soportes libres (dos paredes) 771
2.2.4.2 Suelo (losa de base) 772
2.2.4.3 Cubierta de un tanque de agua 772
2.2.5 Muros de contención 772
2.2.6 Cimentaciones (zapatas) 774
2.2.7 Tanques de agua 774
2.2.7.1 Tanques de agua circulares 774
2.2.7.2 Tanques rectangulares 776
2.3 Trabajos comunes de mampostería 777
2.4 Obras de superficie en puntos de agua. 778
3 Información adicional 780
3.1 Esfuerzos de las estructuras y tipos de reforzamiento 780
3.1.1 Vigas y losas sobre apoyos libres 781
3.1.1.1 Situación del refuerzo en función de los esfuerzos 781
3.1.1.2 Extrapolación al caso de una losa apoyada sobre 2 paredes (cubierta) 782
3.1.2 Pilares y paredes 782
3.2 Cálculo de estructuras y trabajos comunes en hormigón armado 782
3.2.1 Introducción y método 782
3.2.2 Ejemplos de aplicación 783
3.2.2.1 Límites supuestos de los esfuerzos de los materiales 783
3.2.2.2 Dimensionamiento de secciones de hormigón 784
3.2.2.3 Fuerzas aplicadas a estructuras y esfuerzos resultantes (momentos) 784
3.2.2.4 Esfuerzos sobre las estructuras, momentos de torsión. 785
3.2.3 Ejemplos de cálculos en el diseño 786
3.2.3.1 Columnas 786
3.2.3.2 Losas en flexión simple 787
3.2.3.3 Diseño económico de tanques de hormigón armado 788
3.2.3.4 Tanque circular 789
3.2.3.5 Tanques rectangulares 789
3.2.3.6 Tanque rectangular elevado 791
3.2.3.7 Muros de contención de hormigón armado 792
3.2.3.8 Cálculo simplificado de un muro de contención de hormigón armado 794
4 Encofrado 795
4.1 Moldes de madera 795
4.2 Moldes metálicos, moldes para pozos 798
5 Estimación del tiempo de trabajo 804

1 MORTERO, MAMPOSTERÍA, HORMIGÓN Y HORMIGÓN ARMADO

El mortero y el hormigón son materiales esenciales para la construcción. Combinados con acero y piedras constituyen el hormigón armado y la mampostería. Las densidades de los materiales de construcción se dan en la Tabla I:

– mortero: mezcla de cemento/arena/agua;
– hormigón: mezcla de cemento/arena/grava/agua.

Tabla I: Densidades de los materiales de construcción.

Arena	1 600 kg/m^3	Mampostería, piedra	2 500 kg/m^3
Grava	1 800 kg/m^3	Mampostería, bloques huecos	1 500 kg/m^3
Cemento	1 440 kg/m^3	Mampostería, bloque sólido	2 150 kg/m^3
Mortero de cemento	2 000 kg/m^3	Mampostería, ladrillo hueco	1 400 kg/m^3
Hormigón armado	2 500 kg/m^3		

En algunos lugares como Reino Unido o EE.UU., se indican medidas volumétricas (un saco de 50 kg de cemento tiene un volumen de 35 l) como se indica a continuación:

– Mortero 1:3 – 1 volumen de cemento por 3 volúmenes de arena;

– Hormigón 1:2:4 – 1 volumen de cemento por 2 volúmenes de arena y 4 de grava.

La nomenclatura siguiente es de uso corriente en las obras: 1 saco de cemento por 3 carretillas de arena; 1 saco de cemento por 2 carretillas de arena y 4 de grava. Esto no se corresponde con las cantidades usadas en el Reino Unido y EE.UU. mencionadas anteriormente.

ELECCIÓN DE INGREDIENTES

Cemento: el que más se usa es el Portland. Debe estar seco, en polvo y libre de grumos. En el almacenamiento de cemento hay que evitar todo contacto con la humedad. Procurar almacenarlo lejos de paredes que den al exterior, suelos húmedos y apilado estrechamente para evitar la posible circulación de aire.

Agua: en general, el agua buena para beber es igualmente buena para hacer hormigón. Las impurezas del agua pueden afectar el tiempo de fraguado, la resistencia y la contracción o causar corrosión en el material de refuerzo.

Arena; el tamaño del grano debe oscilar entre 0,25 mm y 6,3 mm La arena de las playas, dunas u orillas de ríos suele ser demasiado fina para estos usos.

Grava: el tamaño de grano óptimo para la mayoría de los usos es de 2 cm.

Nota. – Es extremadamente importante que la grava y la arena estén limpias. Cantidades mínimas de polvo, arcilla o materia orgánica pueden echar a perder el hormigón. Una prueba muy simple de la limpieza de estos ingredientes se puede realizar con una jarra transparente de boca grande. Introducir arena en la jarra hasta la mitad y llenar con agua. Agitar vigorosamente y dejar reposar durante tres horas. Casi siempre se detectará una línea divisoria clara entre la arena útil para el hormigón y la arena que es demasiado fina. Si el material demasiado fino excede el 10% del material adecuado, el hormigón hecho con esta arena será débil. Esto significa que hay que buscar otra arena o retirar mediante un lavado la que no es adecuada. La arena y la grava se pueden lavar colocándolas en un bidón. Se llena con agua, se agita vivamente, se deja reposar durante un minuto y se vierte el líquido. Llevando a cabo esta secuencia una o dos veces se puede eliminar la mayor parte de los finos y la materia orgánica.

1.1 Mortero

1.1.1 APLICACIONES Y MEZCLAS

– Construcción de muros de mampostería.

– Recubrimientos (enfoscados), trabajos menores, sellado.

– Fabricación de bloques de cemento.

– Se usan proporciones variables de cemento/arena según sean las aplicaciones (Tabla II, Cuadro 1).

Tabla II: mezclas de morteros de cemento.

Tipo de mortero	Cemento (kg)	Arena (l) 0,1 a 5 mm	Reino Unido/EEUU Denominación
Mortero débil	200 kg (4 sacos)	1 120	1:8
Mortero medio (yeso basto, mortero de mampostería)	300 kg (6 sacos)	1 260	1:6
Mortero duro (yeso para enlucido)	400 kg (8 sacos)	1 120	1:4

1.1.2 USO Y APLICACIONES

Esta mezcla ha de ser homogénea y se ha de preparar en un sitio adecuado (sobre una losa de hormigón, tabla, etc.) El procedimiento normal consiste en apilar la arena a la que se ha añadido el cemento en forma de montículo y trasegarla hasta que se haya mezclado completamente.

Se recomienda humedecer la cantidad necesaria de mortero que se vaya a usar media hora antes de la aplicación, porque es difícil manejar el cemento después de este plazo.

La cantidad de agua necesaria depende de la mezcla del cemento y de la humedad de la arena. Se requieren aproximadamente 200 lit. de agua para obtener 1 m^3 de mezcla de mortero a 300 kg de cemento/m^3.

Se escoge la cantidad correcta de agua para obtener un mortero plástico: para verificar las proporciones, el mortero se extiende con una paleta: la lámina debe brillar, pero sin que haya agua sin mezclar. El exceso de agua puede causar una contracción excesiva y grietas (ver Cuadro 2). El mortero ha de estar protegido del viento y del sol para evitar que se seque demasiado pronto.

1.2 Mampostería

1.2.1 APLICACIONES

– Toda clase de trabajos mayores y menores: cimentaciones, paredes, pilares, etc.

– Ventajas: A menudo se usan materiales disponibles localmente y la técnica suele ser conocida.

– Limitaciones: en trabajos de gran envergadura (tanques de agua de gran capacidad, muros de contención) se requiere gran cantidad de material.

1.2.2 USO Y PRECAUCIONES

– Se pueden usar piedras secas (cortadas o en bruto), bloques de construcción prefabricados (de hormigón o mortero), o ladrillos de arcilla. Se deben usar piedras limpias y mojadas previamente

- aproximadamente 25% mortero para 75% de ladrillos o bloques de construcción;
- aproximadamente 30 – 35% de mortero para 70 – 65% de piedras.

– Para las juntas se usa mortero medio (300 kg de cemento/m^3)

1.2.3 BLOQUES DE MORTERO PREFABRICADOS

Es muy útil fabricar bloques con un equipo de especialistas para suministrar a varias obras y crear un stock para necesidades futuras. La estación de las lluvias es un buen momento para ello porque se necesitan grandes cantidades de agua para mantener húmedos (curar, fraguar) los bloques.

Un equipo típico para un taller de fabricación de bloques lo componen 1 albañil y 6 peones, divididos en tres grupos:

– 3 peones para la mezcla de mortero

– 2 peones para el encofrado de los bloques

– 1 peón responsable de dar agua y almacenar los bloques.

Las cantidades de materiales y la producción se dan en la Tabla III. Los moldes son metálicos y requieren de un buen soldador para fabricarlos (Figura 1). Los moldes se engrasan con aceite usado para facilitar la extracción de los bloques. Normalmente se fabrican dos tipos de bloques de tamaños distintos (Tabla IV). Se da un ejemplo de un taller de fabricación en la Figura 2.

Cuadro 1.
Cemento

El cemento se fabrica sometiendo a altas temperaturas (1.400º C) rocas calizas arcillosas o una mezcla de arcilla y caliza (de 5 a 25 % arcilla, 75 a 95 % caliza). Una vez calcinada la mezcla se tritura para reducirla a polvo.

La adición de agua al cemento origina una reacción química (hidratación): los silicatos cálcicos y los aluminatos cálcicos cambian y se convierten en hidratos cementados con cristales. Esta aglomeración de micro-cristales es lo que causa el fenómeno del fraguado: la fase de endurecimiento se da gracias al proceso de formación de cristales.

El fraguado y el endurecimiento se ven favorecidos por la humedad y las altas temperaturas. En condiciones normales (dependiendo de la temperatura y de la mezcla), los tiempos aproximados son:

- de 30 min. a una hora para el fraguado: el hormigón pierde la plasticidad;
- 4 horas hasta que el proceso de fraguado termina: ya no se puede moldear el hormigón;
- finalmente viene el endurecimiento, que puede durar de 6 meses a un año.

El hormigón, igual que el mortero, cambia con el tiempo. El hormigón se vuelve resistente al endurecerse (Tabla I). Los cementos se caracterizan por su velocidad de fraguado y particularmente por su resistencia a la compresión al cabo de 7 y 28 días de endurecimiento.

Tabla I: Aumento de la resistencia a lo largo del período de endurecimiento.

Duración	Resistencia total (%)
3 días	20
17 días	45
28 días	60
3 meses	85
6 meses	95
1 año	100

Una clasificación aproximada es como sigue:

- cemento de fraguado lento (cementos artificiales Portland);
- cemento ordinario;
- cemento de fraguado rápido para tareas concretas (en contacto con el agua, para sellado, etc.) que es menos resistente que el cemento ordinario (80 kg/cm^2 a 28 días, comparado con los 250 kg/cm^2 para el cemento ordinario).

Por lo general, el tipo de cemento (Portland, CPJ, etc.) y el código de resistencia (35, 45, etc.) viene marcado en los sacos (a veces se indica también la resistencia a 7 y a 28 días). Los sacos suelen llevar una descripción explícita del tipo de cemento y su resistencia.

La mayoría de los cementos ordinarios son Portland o CPJ, la resistencia suele ser 35 ó 45, es decir: con resistencias de 350 ó 450 kg/cm^2 respectivamente.

En teoría, se escoge un cemento determinado en función de su aplicación, pero en la práctica sólo hay un tipo de cemento disponible. Por lo tanto es la mezcla lo que cambia, en vez del cemento: por ejemplo, la cantidad de cemento es mayor en el hormigón para el aro de avance en la excavación de pozos (350 a 450 kg de cemento/m^3) que para hacer losas de hormigón (200 a 250 kg/m^3).

La forma de almacenar el cemento afecta apreciablemente sus propiedades: el cemento absorbe humedad del ambiente con facilidad, lo que origina una pérdida de resistencia si se almacena de cualquier manera o durante demasiado tiempo (hay hasta un 40 % de pérdida de resistencia al cabo de 12 meses de almacenamiento incorrecto).

Cuadro 2.
Contracción

El control de la contracción juega un papel importante en la utilización correcta del cemento. La contracción es en parte un proceso térmico, pero principalmente es un proceso hidráulico (evaporación de agua) que origina grietas en las mamposterías y hormigones. Esta contracción hidráulica continúa durante largo tiempo tras la aplicación del mortero o del hormigón (Tabla II).

Tabla II: Período efectivo de contracción (proporción de agua correcta, temperatura no demasiado alta).

Duración	Contracción (mm/m)
2 días	0,04
7 días	0,13
28 días	0,27
3 meses	0,4
1 año	0,42
3 año	0,45

Algunas razones para el exceso de contracción son:

- demasiada agua (el exceso de agua no se usa para el fraguado y solo puede evaporarse, causando la contracción hidráulica);
- mal fraguado del cemento (causado por una evaporación excesiva del agua);
- alta proporción cemento/carga (400/500 kg de cemento/m^3 para morteros y hormigones muy ricos);
- tamaño de grano irregular de los estériles.

Tabla III: Cantidades de materiales y producción de bloques.

Sacos de cemento (50 kg)	Volumen de arena (l)	Volumen de agua (m^3) (incluyendo la humedación)	Número de bloques
1	140	0,04	de 20 a 25
16	2 400	2	400
Producción	400 bloques al día con un equipo bien organizado		
Desperdicio (roturas)	del 5 al 10%		

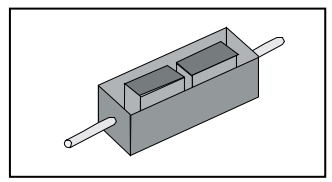


Figura 1: Molde para bloques de mortero.

Tabla IV: Medidas corrientes de los bloques de mortero.

Ancho	Alto (centímetros)	Largo	Ancho	Alto (pulgadas)	Largo	Usos
15	20	40	6	8	16	Muros de carga
10	20	40	4	8	16	Tabiques

1.3 Hormigón

1.3.1 APLICACIONES

Hay que hacer una distinción entre hormigón en masa y hormigón armado. El hormigón en masa resiste solo la compresión, mientras que el armado resiste tanto la compresión y como la tracción (el acero del refuerzo resiste las fuerzas de tracción). Es por esta razón que el hormigón armado se usa en tan variadas aplicaciones – cimentaciones, muros de contención y otras estructuras como plataformas, losas, pilares o vigas y en aplicaciones especiales como el entibamiento de pozos, aros de hormigón, cabezales de pozos, etc.

1.3.2 MEZCLAS

La mezcla estándar para el hormigón (Tabla V) es 300 kg de cemento por m^3 de estéril, que contiene 1 volumen de arena y 2 volúmenes de grava, que en la práctica es 1 saco de cemento por 1 carretilla de arena y 2 de grava. Una proporción mayor de cemento aumenta la resistencia a la compresión (Tabla VI) pero aumenta también la contracción (ver Cuadro 2).

Tabla V: Mezclas para hacer hormigón.

Tipo	Cemento (kg)	Arena (l)* 0,1 – 5 mm	Grava (l)* 6 – 25 mm	Reino Unido/EEUU denominación
Hormigón armado para altas prestaciones	400	400	800	1:1,5:3
Estándar (bases de bombas, piletas, vigas, etc.)	300 a 350	400	800	1:2:4
Cimentaciones y envolventes de tubos	200 a 250	400	800	1:3:6

*1 m^3 de estériles dan un volumen de 1.100 ó 1.200 l tras la expansión.

Tabla VI: Efecto del contenido de cemento sobre la resistencia al cabo de 28 días.

Mezcla (kg/m^3)	Resistencia a la Compresión (bar)	Resistencia a la tracción (bar)
300	210	20
350	250	22
400	280	24

1.3.3 ESTIMACIÓN DE LAS CANTIDADES DE MATERIAL REQUERIDO

a) Calcular el volumen de hormigón necesario

b) Estimar el volumen total de material requerido multiplicando el volumen necesario por 1,65 (incluye un 10% de pérdidas).

c) Sumar los números en la proporción volumétrica que se usará para tener un total relativo. Esto permite luego calcular fracciones del total necesario de cada componente. (p.ej.: 1:2:4 = 7).

d) Determinar el volumen requerido de cemento, arena y grava multiplicando el volumen total de material seco (etapa b) por la fracción de cada componente del volumen total de mezcla (etapa c). p. ej.: cantidad total de cemento necesario = volumen de materiales secos x 1/7.

e) Calcular el número de sacos de cemento dividiendo el volumen requerido por el volumen unitario por saco (0,0332 m^3 por cada saco de 50 kg ó 1 pie^3 por cada saco de 94 libras).

Por ejemplo, en una base de bomba de 2 m por 2 m por 10 cm de espesor:

a) volumen requerido de hormigón:	0,40 m^3
b) volumen estimado de material seco:	0,40 x 1,65 = 0,66 m^3
c) totales de la mezcla:	1 + 2 + 4 = 7 (1:2:4 cemento + arena + grava)
d) volúmenes de los ingredientes:	0,66 x 1/7 = 0,094 m^3 cemento 0,66 x 2/7 = 0,188 m^3 arena 0,66 x 4/7 = 0,378 m^3 grava
e) número de sacos de cemento:	0,094 m^3 cemento/0,0332 m^3 por saco de 50 kg = 2,83 sacos (usar 3 sacos).

1.3.4 CONTENIDO EN AGUA DEL HORMIGÓN, SEPARACIÓN DE LOS INGREDIENTES

Las funciones del agua son hidratar el cemento, humedecer los estériles y asegurar la plasticidad adecuada de los morteros y hormigones. La cantidad de agua que se añade depende de la aplicación y de la cantidad de cemento; por ejemplo, el hormigón se humedece más para introducirlo en el molde que contiene el refuerzo que cuando se forja una losa.

La cantidad de agua usada en la preparación del hormigón influye en la separación, p.ej. la pérdida de homogeneidad del material conduce a una resistencia inferior. Si no se toman precauciones los ingredientes del hormigón (grava, arena y cemento), que tienen densidades muy distintas, tienden a separarse (sedimentación diferencial), el más pesado cae al fondo y el más ligero permanece en la superficie.

1.3.5 USO Y PRECAUCIONES

La mezcla se lleva a cabo en una zona preparada (p.ej. sobre una losa de hormigón), en la que se mezclan en seco el cemento, arena y grava removiendo la mezcla homogéneamente formando un montículo.

Una vez que los ingredientes secos ya están bien mezclados, se hace un cráter en la parte superior del montículo y se vierte el agua requerida.

Se deja que el agua se disperse antes de empezar con el mezclado en húmedo, esto asegurará la plasticidad del hormigón.

La cantidad de agua necesaria se puede calcular de la Tabla VII.

Tabla VII: Volumen de agua por m^3 de hormigón de 350 kg de cemento/m^3 (ingredientes secos).

Volumen de agua (l)	Calidad del hormigón	Agua/cemento (l/kg)
151	Muy duro	0,43
175	Duro	0,50
200	Plástico	0,57
221	Blando	0,63
231	Demasiado blando	0,66

Conviene tomar precauciones como:

– no añadir exceso de agua para evitar la contracción y separación de los ingredientes;

– proteger del sol y del viento las superficies del hormigón armado, (film de plástico, sacos vacíos de cemento, esterillas, etc.) y humedecer las superficies expuestas, techos y demás superficies expuestas con el objetivo de asegurar un secado lento y que se mantenga la humedad para que continúe la reacción del fraguado;

– mantener los tiempos especificados para la retirada de moldes y encofrados (Tabla VIII);

– dejar suficiente tiempo antes de poner en servicio la estructura, p.ej. tomar típicamente 28 días antes de llenar un tanque de agua;

– asegurar las juntas correctas entre forjados adyacentes (cuando se construyen forjados por etapas consecutivas, se deben hacer los forjados cada 24 horas, con la superficie de contacto perfectamente limpia y preparada);

– vibrar bien el hormigón para compactarlo;
– trabajar a temperaturas superiores a 5 ºC.

Tabla VIII: Tiempo requerido para retirar los moldes a 18 ºC para el hormigón estándar. En el caso de los tanques de agua construidos por etapas, la regla es construir un forjado al día.

Paredes de un tanque, anillos de un pozo, etc.	24 horas
Losas forjadas sobre el terreno	2 a 3 días
Losas prefabricadas	3 días

1.3.6 JUNTAS DE HORMIGÓN

Hacer buenas juntas entre forjados sucesivos es de la mayor importancia para la solidez e impermeabilidad de una estructura. Las condiciones para una buena junta son: un ángulo correcto de junta, una superficie bien preparada y un espacio de tiempo corto entre dos forjados (Tabla IX).

El ángulo correcto de la junta es variable y depende del tipo de esfuerzo que soporta la estructura (Figura 3).

En el caso de muros de carga o tabiques que soportan cargas verticales, las juntas son de superficies bastante perpendiculares, mientras que en los suelos o las paredes de un tanque de agua es preferible que las juntas tengan un ángulo.

Para asegurar una buena adherencia, es necesario que la superficie sea rugosa de modo que la junta proporcione un machihembrado. La superficie de la junta se ha de hacer áspera, cepillándola para eliminar polvo de materiales sueltos y se ha de humedecer antes de forjar la nueva etapa.

Algunos aditivos como Sikalatex mejoran la adhesión (Cuadro 3).

Tabla IX: Resistencia de una junta de hormigón.

Secuencia de forjados sucesivos	Resistencia de la junta
1 día	325 kg/cm^2
7 días	210 kg/cm^2
18 días	65 kg/cm^2

Cuadro 3.
Aditivos del hormigón

Hay gran número de aditivos para el hormigón y el mortero: plastificantes y reductores de viscosidad, impermeabilizantes, acelerantes y retardantes del fraguado, anticongelantes, etc. Hay dos productos líquidos impermeabilizantes ampliamente usados en estructuras de suministro de agua, son el Sika y Sikalatex.

Impermeabilizante líquido Sika
Este aditivo se usa para hacer impermeable la masa de hormigón (usado para las paredes y fondo de tanques de agua), así como para hormigones resistentes al yeso conteniendo agua, o agua del mar. Se encuentra en forma de un líquido concentrado blanco en bidones de 210 kg que se deben almacenar al resguardo del sol.

El líquido impermeabilizante Sika se añade al hormigón junto con el agua. La mezcla contiene de 1 al 1,5% de Sika en el cemento, en peso. Es decir: entre 1 y 1,5 litros de producto por 100 kg de cemento.

Sikalatex
Este producto aumenta significativamente la adherencia del mortero u hormigón a cualquier superficie, incluso a las más finas (por ejemplo las juntas de dos forjados consecutivos), limita el riesgo de grietas y asegura una elevada impermeabilización (para recubrimientos de tanques de agua). Es un líquido lechoso que se presenta en forma concentrada en latas de 2 litros o bidones de 30 l.

El mortero de Sikalatex es un mortero adherente que tiene una superficie rugosa, con usos tanto para reparaciones en el hormigón, como para extender una capa impermeable. La mezcla más corriente es aproximadamente 0,12 l por m^2 de capa adherente.

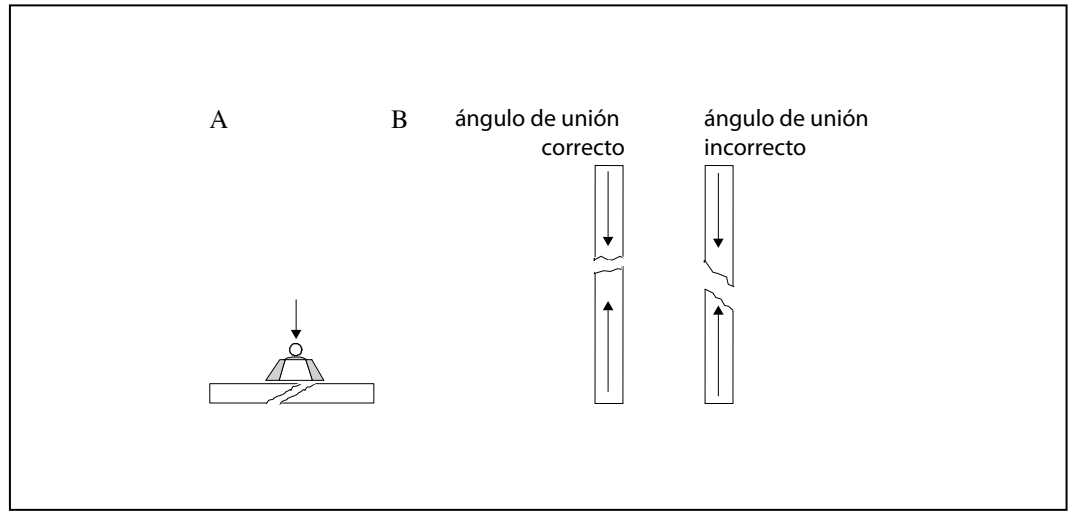


Figura 3: Juntas de hormigón. A: junta sobre el suelo. B: junta en un muro bajo carga vertical.

1.4 Acero para reforzar el hormigón (hormigón armado)

El hormigón armado tiene las ventajas de las propiedades de los dos componentes: la resistencia a la compresión del cemento y la resistencia a la tracción del acero incorporado en la estructura (Tabla X).

Tabla X: resistencia del acero y del hormigón.

	Resistencia a la tracción (kg/cm^2)	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)
Barra de hormigón	30	300
Barra de acero	3 000	3 000

1.4.1 PROPIEDADES DE LOS ACEROS DE REFUERZO

El acero usado para el hormigón armado es un acero de alta adherencia, conocido como HA, que tiene una superficie estriada con muescas y protuberancias para asegurar la mejor adherencia al hormigón. Las barras de superficie lisa para el refuerzo del hormigón están cayendo en desuso; requieren arreglos estructurales específicos (mayores longitudes de anclaje).

La Tabla XI da la correspondencia entre los diámetros internacionales y los de Reino Unido/EEUU de las barras usadas para el refuerzo.

Tabla XI: Equivalencia de los diámetros.

Diámetro en mm	Diámetro en pulgadas
6	1/4”
8	1/3”
12	1/2”
16	2/3”
25	1”

1.4.2 COLOCACIÓN, ANCLAJE, SOLAPE

En las Figuras 4 y 5 y en el Cuadro 4 se ilustran algunas disposiciones de los elementos estructurales de refuerzo.

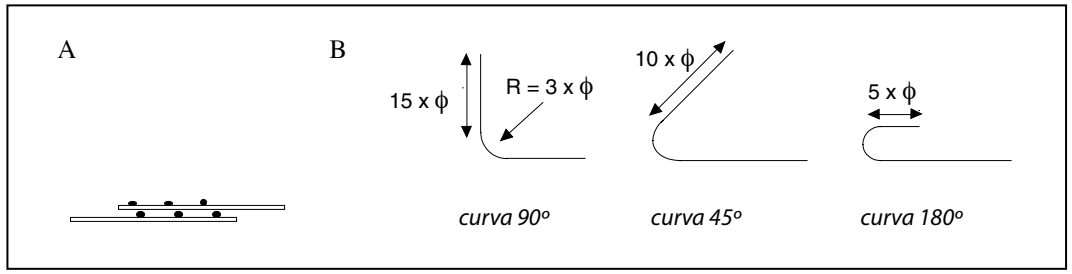


Figura 4: Disposición de las barras de refuerzo.
A: malla soldada (solape). B: longitudes de anclaje con una barra curvada.

Cuadro 4.
Malla soldada

La malla soldada (Figura 1) se usa para reforzar losas y tabiques. Reemplaza la barra tradicional de acero atada con alambre de acero y es más fácil de usar. Al igual que con cualquier refuerzo, la malla soldada se caracteriza por el diámetro del alambre y el tamaño de malla. Para colocar la malla soldada tiene que haber un solape de tres puntos de soldadura en la dirección de las barras principales.

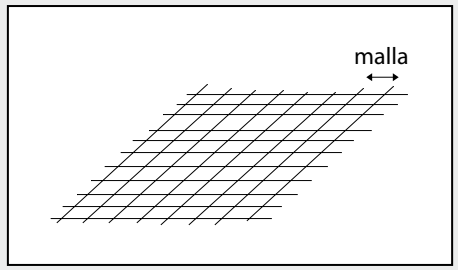


Figura 1:
Malla soldada usada en el refuerzo de losas y paredes de tanques.

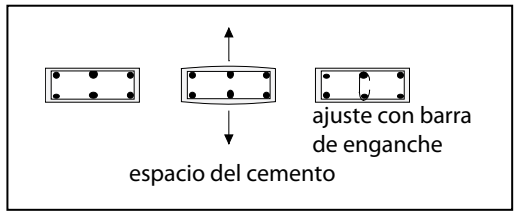


Figura 5: Refuerzo de una columna.

La transferencia de esfuerzos desde el hormigón al acero y viceversa tiene lugar por medio de la adherencia. Con el fin de asegurar una buena adherencia, es preciso tener superficies limpias (libres de materia orgánica, herrumbre, aceite, etc.), una longitud de anclaje suficiente y adecuada (Tabla XII) y vibrar el hormigón correctamente. El refuerzo ha de estar recubierto de hormigón un mínimo de 3 cm.

Tabla XII: Longitudes de anclaje

Refuerzo	Adherencia elevada	Superficie fina
Curvo	30 diámetros	40 diámetros
Recto	50 diámetros	60 diámetros

2 CÁLCULOS ESTRUCTURALES RÁPIDOS

2.1 Cálculos de cargas

Para diseñar estructuras hay que calcular las cargas a soportar (Tabla XIII). Hay dos tipos de cargas:

– cargas estáticas debidas al peso de las estructuras (cargas permanentes);

– cargas dinámicas debidas por ejemplo al peso del agua en un tanque, o al peso de materiales almacenados sobre una losa (sobrecarga de uso).

Tabla XIII: Cargas dinámicas sobre una estructura (sobrecarga de uso)

	Carga dinámica sobre una losa (sobrecarga de uso)
Estructura privada	200 kg/m^2
Estructura pública	500 kg/m^2

Las cargas estáticas se suman a las dinámicas en muchos cálculos; los cimientos, por ejemplo, sufren las cargas estáticas del edificio más las dinámicas. Para calcular las cargas estáticas y dinámicas hay que referirse a la Tabla XXIX.

2.2 Elementos del hormigón armado

Las tablas de esta sección dan indicaciones para elegir las dimensiones y dispositivos de refuerzo de estructuras normales. En cada tabla, las cifras en cursiva son las óptimas desde el punto de vista estructural y de costes.

2.2.1 DEFINICIONES

Losa, forjado: este término se aplica a forjados suspendidos (suelos), recubrimientos (sobre tanques de agua) y estructuras pequeñas (p.ej.: faldones, cubetos, losas para fuentes de grifos, áreas de lavaderos).

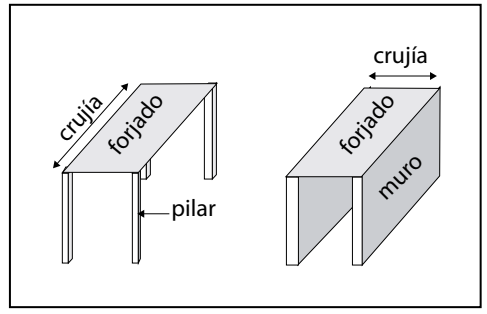


Figura 6: Arco (crujía) de una losa (forjado).

Base: losa sobre el suelo que sirve de cimiento.

Arco, crujía (de una losa o de una viga): longitud entre apoyos sobre los que descansa la losa o la viga (Figura 6). En el caso de una losa soportada por cuatro paredes, el arco considerado es la distancia entre las dos paredes enfrentadas. En el caso de una losa apoyada sobre cuatro pilares, se considera como arco de diseño la distancia mayor entre apoyos.

Malla: es el espaciado entre las barras de un dispositivo de refuerzo. Si el espaciado entre las barras horizontales y verticales (o transversales y longitudinales) es el mismo, la malla se llama cuadrada.

2.2.2 PILARES

Dimensionamiento: la sección transversal mínima es igual a la vigésima parte de la altura de la columna. Los pilares pueden soportar cargas pesadas, p.ej. en el caso de un tanque de agua elevado. La disposición del refuerzo se indica en la Figura 7 y el dimensionamiento en la Tabla XIV.

Tabla XIV: Diseño del refuerzo y cargas dinámicas permisibles en un pilar en función de la altura. Ver Figura 7 para a y b.

Sección	Barras verticales principales		Carga dinámica (t) dependiendo de la altura					
(a x b, cm x cm)	número	diámetro	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0
15x15	4	10	15,5	12,5	11,0	9,5		
	4	12	16,5	13,5	11,5	10,5		
	4	16	20,0	16,5	14	12,5		
15x20	4	14	21,0	18,5	16,5	13,5		
20x20	4	14			26,0	23,5	19,5	
25x25	4	14			49,5	42,5	35,5	
25x30	6	14			61,5	52,5	50,5	
30x30	4	16				70,5	53,0	48,0

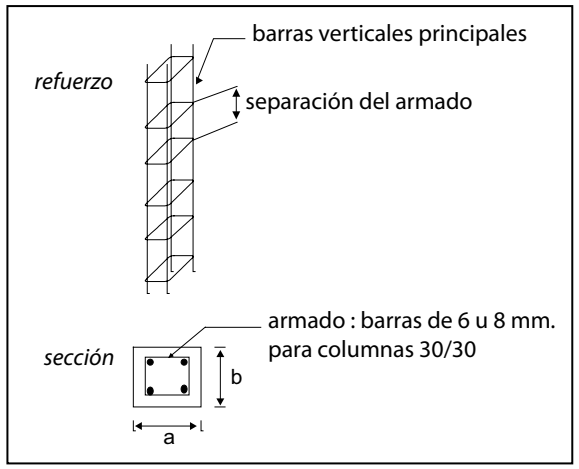


Figura 7: Refuerzo de un pilar.

2.2.3 VIGAS

Dimensionamiento: la sección transversal de una viga es igual a 0,3 veces su altura, que varía entre la décima parte y la decimoquinta parte de su longitud (arco). Las disposiciones del refuerzo se indican en la Figura 8 y la Tabla XV.

Tabla XV: Diseño del refuerzo y carga dinámica aceptable de una viga, según su arco.

Sección	Refuerzo principal		Carga dinámica t (m) dependiendo del arco (m)								
(a x b, cm x cm)	número	diámetro (mm)	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	7,0
10 x 15	2	8	0,5								
10 x 20	2	10	1,0	0,5							
15 x 25	2	12	4,0	2,2	1,4	1,0	0,5				
15 x 30	2	12		2,8	1,75	1.2	1,0	0,5			
15 x 40	2	14			2,25	1,65	1,25	0,5			
20 x 30	3	12				1,8	1,3	1,0	0,5		
20 x 40	3	16						2,5	2,0	1,6	1,3
20 x 50	4	16							2,5	1,9	1,3
25 x 55	4	16								2,1	1,5

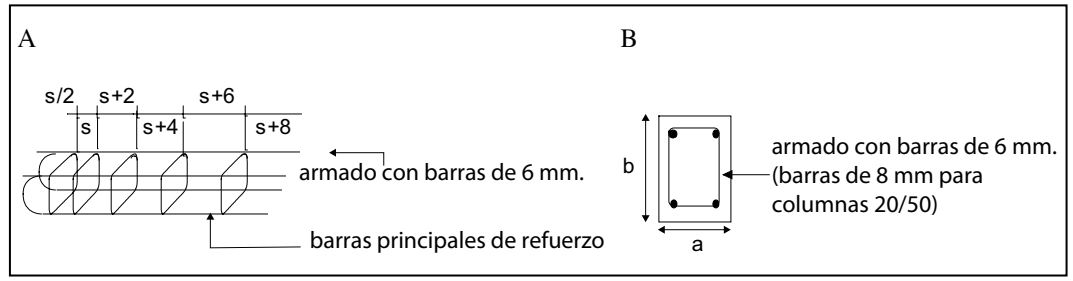


Figura 8: Malla de refuerzo (A) y dimensiones normales (B) de una viga. En A el espaciado de los marcos se reduce cerca de los soportes y se alarga hacia el centro de la viga, el espaciado varía en función de la carga y de la longitud de la viga (carga dinámica de 4 t, s = 8 cm; de 2 hasta 3 t, s = 12 cm; de 1 t, s = 15 – 20 cm)
Cuanto mayor sea la relación entre la altura y anchura de la viga (b:a), mayor será el valor s del espaciado.
Para vigas muy anchas (55 cm x 25cm) soportando cargas de 1 ó 2 t, s = 40 cm.
Las cargas nominales sobre vigas relativamente poco portantes son de 500 a 1.000 kg por m de longitud.

2.2.4 LOSAS (FORJADOS)

Dimensionamiento: espesor mínimo (s) de 7 cm:

– losa sobre dos muros: s = de 1/20 m a 1/30 m de la crujía

– losa sobre cuatro apoyos: s = 1/20 de la crujía

– losa sobre cuatro paredes: s = desde 1/30 a 1/40 de la crujía.

El plano de refuerzo típico de una losa se indica en la Figura 9. Las barras principales se disponen en el fondo de la losa (Figura 10), excepto en las cimentaciones que sirven de base donde se colocan hacia la parte superior de la losa.

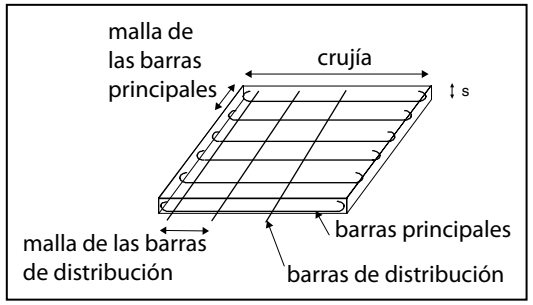


Figura 9: Refuerzo de una losa.

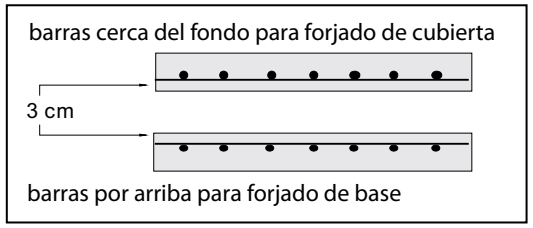


Figura 10: Disposición de las barras principales de refuerzo según el tipo de losa (base o cubierta).

2.2.4.1 LOSA RECTANGULAR SOBRE SOPORTES LIBRES (DOS PAREDES)

Las barras principales a usar para una losa sobre dos paredes, dependiendo de la crujía, para una carga distribuida uniformemente se indican en la Tabla XVI.

En lo referente a las barras de distribución, se usan los diámetros de 6 y 8 mm. Para longitudes inferiores a 4 m, la malla es de 20 cm con barras de 6 mm y para longitudes mayores a 4 m, la malla es de 15 cm para L> 4 m con barras de 8 mm.

Tabla XVI: Calibres principales de barras, y cargas dinámicas aceptables, dependiendo del espesor de la losa y de su arco.

Espesor	Refuerzo		Carga dinámica (kg/m2) según la crujía (m)							
(cm)	diámetro (mm)	malla (cm)	1,5	2,0	2,5	3	4	5	6	
7	8	14	500	250						
9	8	10	1 300	600	300	150				
12	10	11		1 500	800	450	150			
15	12	12			1 500	950	375	110		
19	12	9				1 700	800	350	100	
24	16	13					1 800	900	450	
30	16	10							1 200	650

2.2.4.2 *SUELO (LOSA DE BASE)*

Por lo general este tipo de estructuras no soporta grandes cargas (ver Tabla XIII) y la presión sobre el suelo es un apoyo suficiente. Se usa un refuerzo del mismo diámetro para las barras longitudinales y las transversales en malla cuadrada (Figura 11 y Tabla XVII).

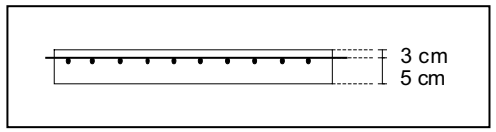


Figura 11:
Disposición del refuerzo para un suelo (forjado).

Tabla XVII: Tamaño de malla para un suelo según el diámetro de las barras.

Diámetro (mm)	Malla (cm)
6	15
8	30
10	40

2.2.4.3 *CUBIERTA DE UN TANQUE DE AGUA*

Por lo general este tipo de losas no están sujetas a grandes cargas dinámicas. Por tanto, se puede usar un espesor mínimo de 8 cm. El refuerzo para una cubierta circular de un tanque de agua se indica en la Tabla XVIII.

Tabla XVIII: Refuerzo para una cubierta circular de un tanque de agua.

Diámetro interno del tanque (m)	Diámetro de las barras (mm)	Malla (cm)
2	6	25
3	6	17
4	8	17
5	8	10
6	10	11

Las losas semifijas soportan mejor las cargas; las reglas a seguir para el reforzamiento se ilustran en las Figuras 12 y 13.

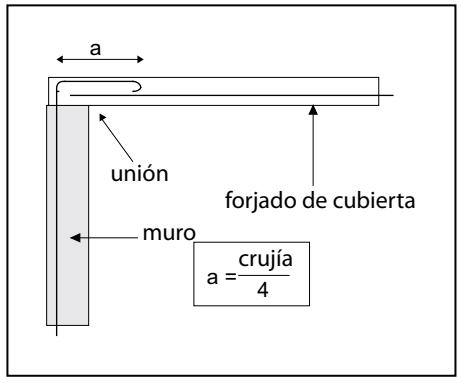


Figura 12: Refuerzo de una losa semifija.

2.2.5 MUROS DE CONTENCIÓN

La Figura 14 y la Tabla XIX dan las dimensiones y el refuerzo de un muro de contención en hormigón armado de 3 m de altura, que soporta tierra (suelo arcilloso, piedras y gravas, tierra suelta, suelo arenoso).

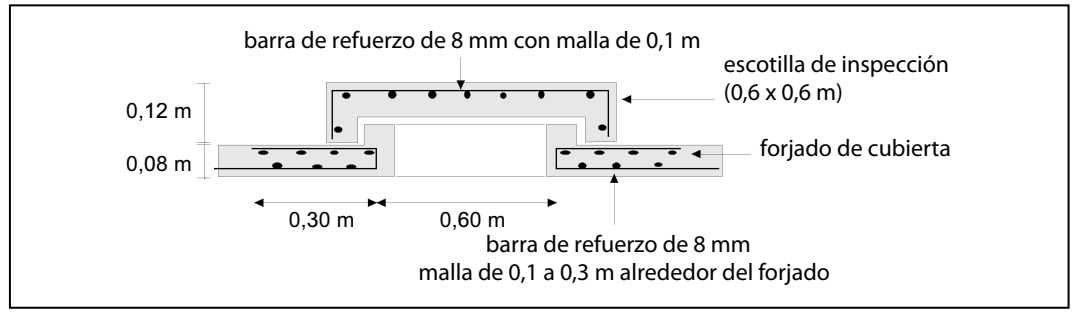


Figura 13: Dimensiones y refuerzo de una tapa para la inspección de un tanque de agua (escotilla).

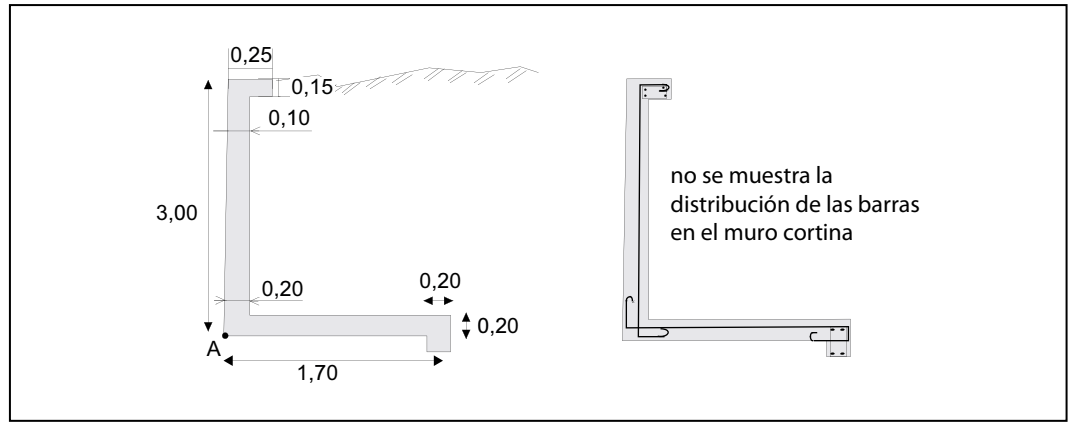


Figura 14: Dimensiones y disposición del refuerzo de un muro de contención de hormigón armado de 3 m de altura.

Tabla XIX: Dimensiones del refuerzo de un muro de contención de hormigón armado de 3 m de altura.

Barras de refuerzo del muro cortina	barra de 10 mm/malla de 11,5 cm. cada segunda barra es de media altura
Distribución de las barras de refuerzo	barra de 8 mm/malla de 20 cm en la parte inferior. barra de 6 mm/malla de 20 cm en la parte superior.
Barras de refuerzo en la base (footing)	la misma distribución que en el muro cortina. barra de 10 mm/malla de 11,5 cm para las barras principales. barras de 8 mm/malla de 20 cm para las barras de distribución.

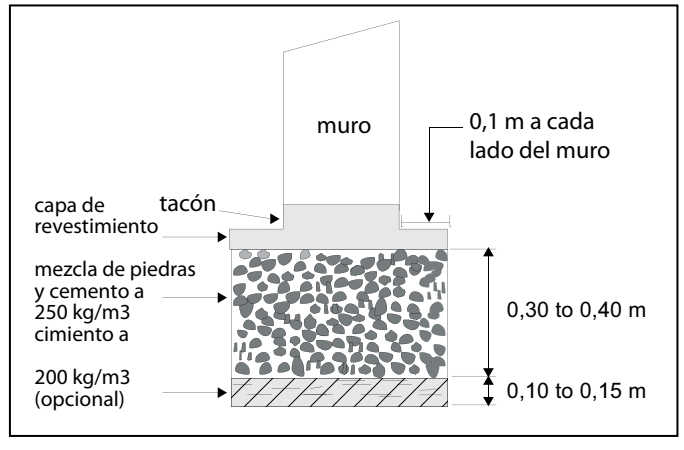


Figura 15:
Sección de una cimentación.

2.2.6 CIMENTACIONES (ZAPATAS)

Generalmente, las cimentaciones tienen una profundidad de 30 cm se hacen de hormigón mezclado a 350 kg de cemento/m^3 con piedras de gran tamaño (Figuras 15 al 17). Este hormigón se usa generalmente en zapatas (cimentaciones) porque requiere volúmenes relativamente pequeños de hormigón y es por tanto menos caro. La terminación con un revestimiento de hormigón permite igualar las irregularidades superficiales debidas al gran tamaño de las piedras al tiempo que proporciona una superficie plana horizontal sobre la que erigir muros o las paredes de un tanque.

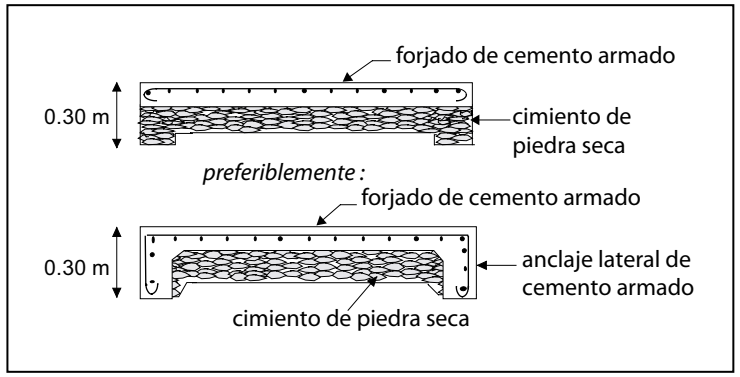


Figura 16: Cimentación debajo de una losa.

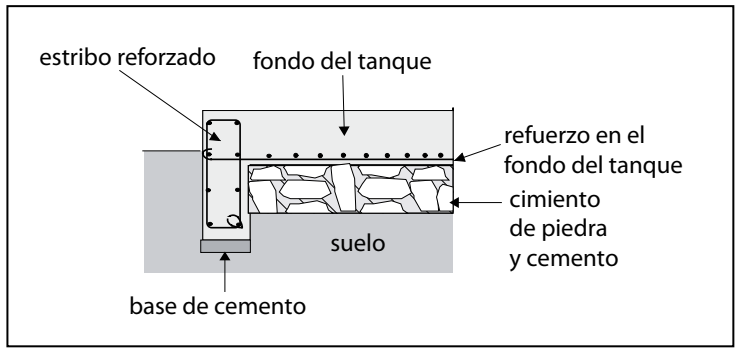


Figura 17: Ejemplo de una cimentación para un tanque mediano. La altura total de la base es de 40 cm (incluyendo el espesor de la losa); la anchura de la base es de 15 cm.

La mejor forma para un tanque es la circular (Tabla XX); los tanques rectangulares tienen un gran número de desventajas.

Tabla XX: Ejemplos de capacidad de tanques de agua circulares estándar.

Altura (m)	1	1,45	1,7	2,65	3,25
Diámetro (m)	1,75	2,25	2,75	4,75	6
Capacidad (m^3)	2	5	10	45	90

2.2.7 TANQUES DE AGUA

2.2.7.1 TANQUES DE AGUA CIRCULARES

El reforzamiento horizontal (en forma de circunferencias) es esencial para soportar el esfuerzo en la circunferencia de un tanque circular (Tablas XXI a XXIII). El esfuerzo es muy bajo en la parte superior y apenas si se necesita refuerzo; sin embargo, la separación entre las barras del refuerzo circular no debe ser superior a tres veces el espesor de la pared del tanque.

Tabla XXI: Refuerzo horizontal, en secciones de 1 m de arriba hacia abajo. Los tamaños preferidos se dan en cursiva.

Espesor de pared (cm)	10	10	10	10	10
Diámetro (m)	1,5 – 2	2 – 2,5	2,5 – 3	4,5 – 5	6
Altura (m)	Diámetro de las barras (mm) y malla (cm) usada				
0 – 1	8/25	8/25	8/25	8/25	8/25
1 – 2	*8/25*	*8/25*	*8/25*	8/15	10/17.5
2 – 3		*8/15*	*8/15*	*10/12,5*	12/15
3 – 4			10/15	*12/12,5*	*12/10*

Tabla XXII: Refuerzo vertical (barras de distribución). En la práctica es suficiente llegar a media altura con cada segunda barra.

Diámetro (mm) y malla (cm) de las barras usadas	
Desde el fondo hasta media altura del tanque	8/10
Desde media altura hasta arriba	8/20

Tabla XXIII: Refuerzo de la base.

Diámetro de las barras usadas	Tamaño de malla
6	15 cm – cuadrada
8	30 cm – cuadrada

La Figura 18 muestra un ejemplo de refuerzo para un tanque circular. El espaciado de las barras horizontales aumenta a medida que se asciende y se aleja de la zona que soporta mayores esfuerzos:

– el procedimiento consiste en dividir el tanque en secciones de 1 metro;

– el espaciado se aumenta hasta un máximo de tres veces el espesor de la pared que hay por encima.

Esta disposición se modifica en el caso de tanques de gran capacidad.

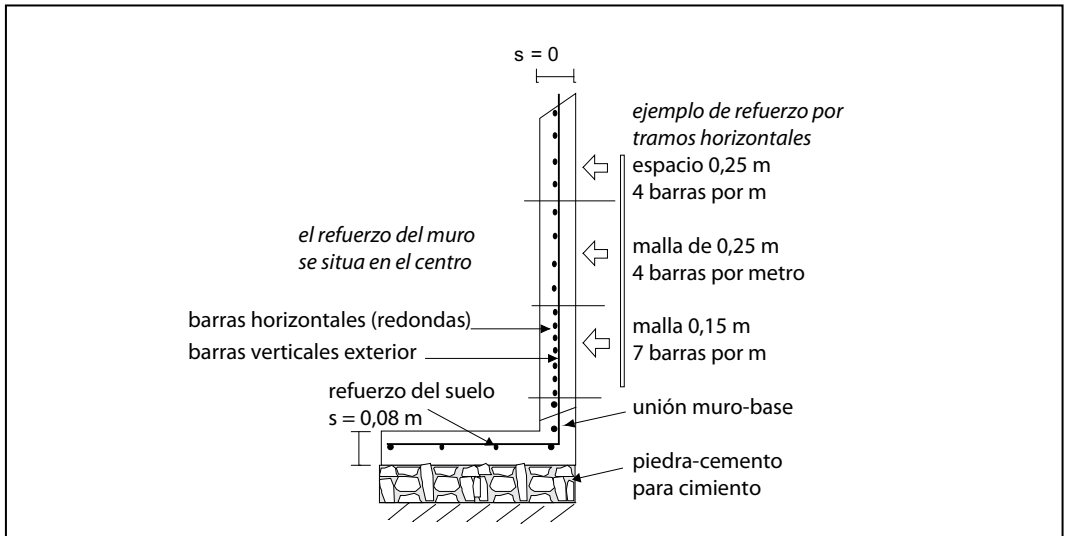


Figura 18: Ejemplo de refuerzo para un tanque circular.

Figura 18: Ejemplo de refuerzo para un tanque circular.

2.2.7.2 *TANQUES RECTANGULARES*

La Tabla XXIV y las Figuras 19 a 21 muestran un ejemplo de configuración de refuerzo en un tanque rectangular.

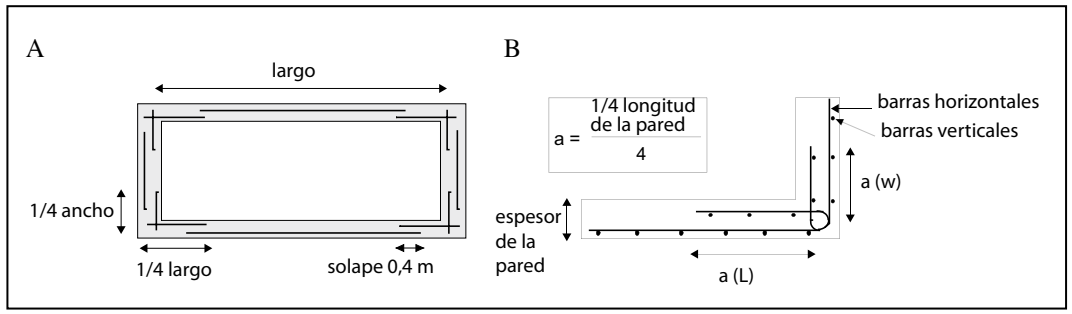


Figura 19: Refuerzo para un tanque rectangular. A: sección horizontal para el refuerzo de la pared. B: sección vertical para el refuerzo de la pared y de la cimentación.

Tabla XXIV: Dimensiones y refuerzo de un tanque de agua rectangular.

Capacidad (m^3)	3	5	10	20	45	70
Altura (m)	1,5	2	2	2,5	3	3
Anchura/Longitud (m)	1,5/1,5	2/2	2/3	2/4	4/4	4/6
Espesor del muro (cm)	10	10	11	11	14	14
Refuerzo de la pared vertical Diámetro (mm) / malla (cm)	12/15	12/10	12/10	16/12	16/9	16/9
Refuerzo de la pared horizontal Diámetro (mm) / malla (cm)	8/17	8/13	8/13	12/19	12/15	12/15
Refuerzo de la base Diámetro (mm) / malla (cm)	6/15	6/15	6/15	6/15	6/15	6/15
Optativo	8/30	8/30	8/30	8/30	8/30	8/30

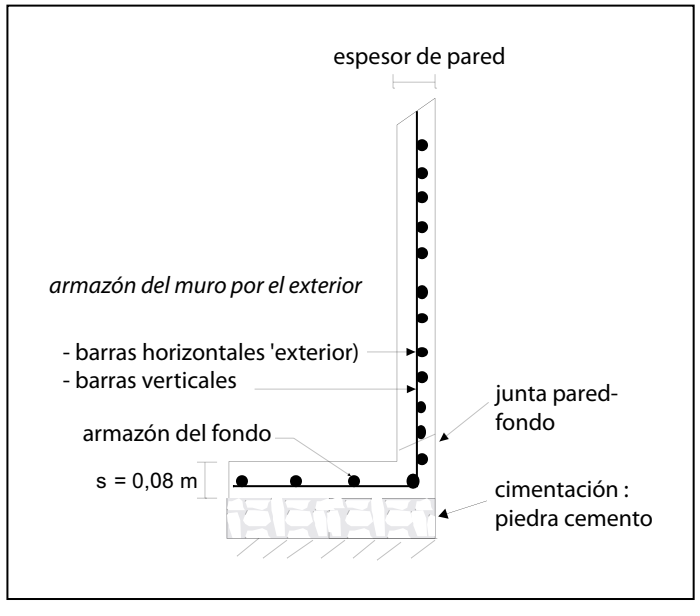


Figura 20: Refuerzo de la pared de un tanque rectangular pequeño: longitud de pared inferior a 2 m, con solape ("a" en la figura 19) de 40 cm mínimo.

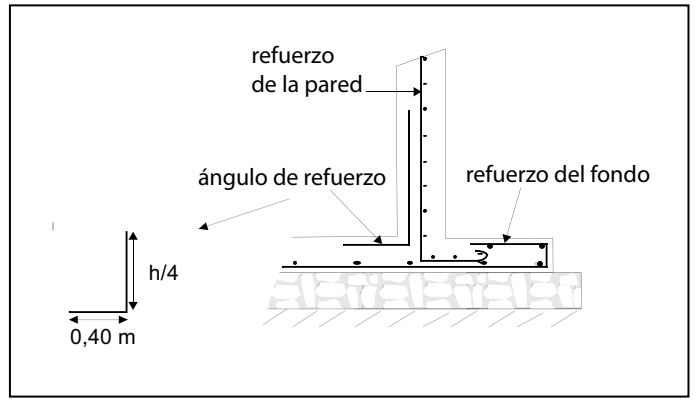


Figura 21: Refuerzo de la pared de un tanque rectangular de gran capacidad.

2.3 Trabajos comunes de mampostería

Se pueden construir muros de contención y tanques pequeños de mampostería siempre que se disponga de piedra suficiente y haya bastante mano de obra.

Como la resistencia de la estructura depende del peso de la mampostería que resiste el empuje del agua, se requiere la construcción de muros bastante gruesos en la base. La Tabla XXV da las dimensiones adecuadas para un muro de contención de tierra (Figura 22), y un muro de contención de agua (tanque o presa – Figura 23), calculado para evitar el vuelco (ver Sección 3.2.3.7). Los cálculos se refieren a la retención de la tierra sin sobrecargas de uso.

Tabla XXV: Dimensiones de un muro de contención de mampostería, y muro de una presa o pared de tanque, según el espesor de la base y con un espesor de 20 cm en la parte superior.

Muro de contención		Presa o pared de tanque	
Altura del muro (m)	Espesor de la base (m)	Altura de agua (m)	Espesor de la base (m)
1,0	0,40	1,0	0,65
1,5	0,65	1,5	1,00
2,0	0,85	2,0	1,35
2,5	1,10	2,5	1,72
3,0	1,35	3,0	2,10
3,5	1,60	3,5	2,50
4,0	1,80	4,0	2,80

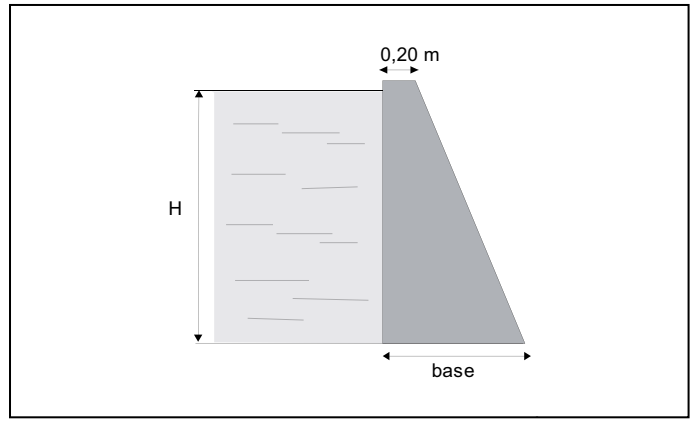


Figura 22: Muro de contención.

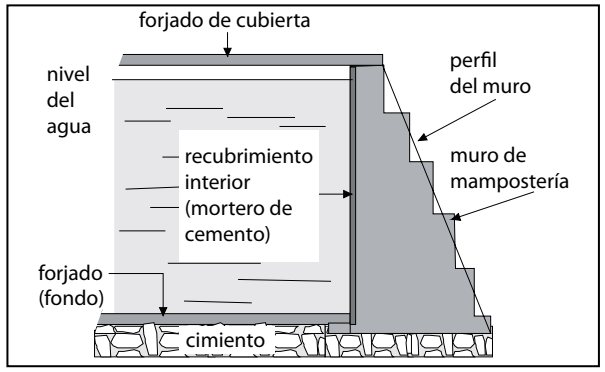


Figura 23: Pared lateral de un tanque.

Es importante recordar que se han de practicar agujeros de purga a través de los muros de contención para dejar escapar el agua que se filtre, de otro modo la carga adicional del agua añadida a la de la tierra puede derrumbar el muro.

2.4 Obras de superficie en puntos de agua.

Las obras superficiales de los puntos de agua se pueden hacer de mampostería o de hormigón armado. Los planos de las partes y de la construcción principal se muestran en las Figuras 24 a 26 (obras superficiales de un sondeo), 27 a 28 (obras superficiales de un pozo) y 29 a 30 (pilar de los grifos y faldón o pileta).

Figura 24:
Aspectos importantes de las obras superficiales de un pozo perforado.

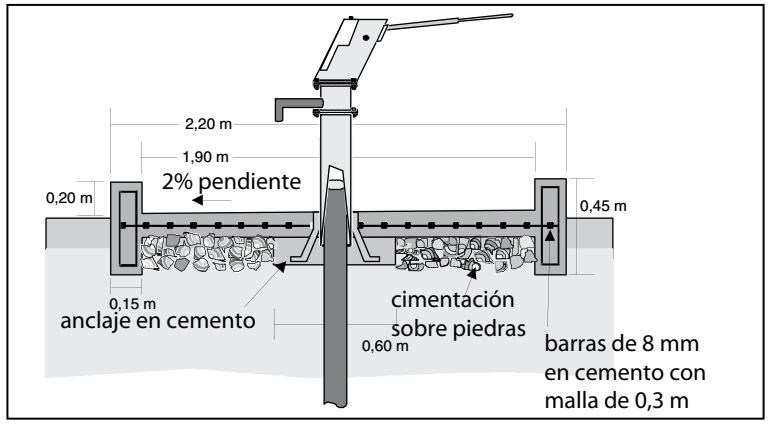


Figura 25:
Detalles constructivos de unas obras superficiales de un pozo perforado.

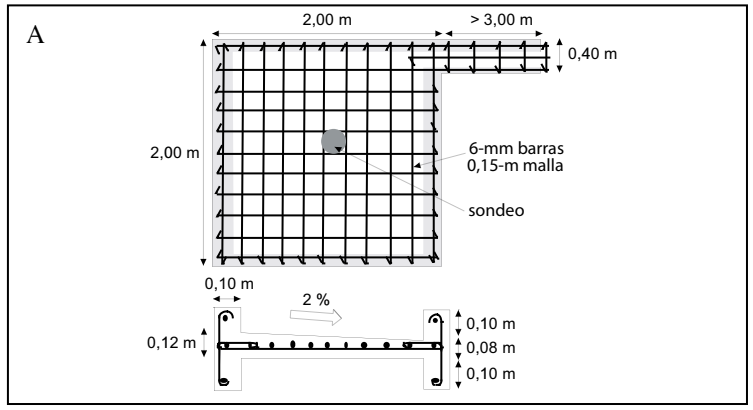


Figura 26 A:
Refuerzo: losa.

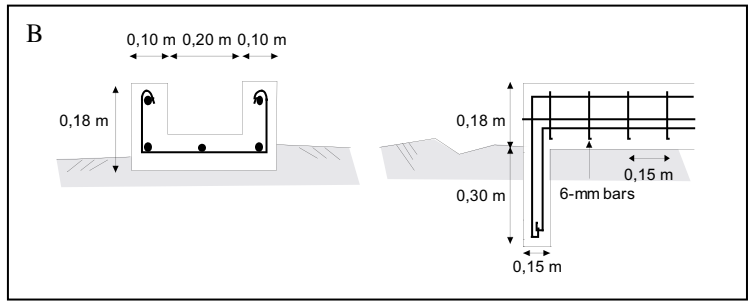


Figura 26 B:
Refuerzo: zanja de desagüe.

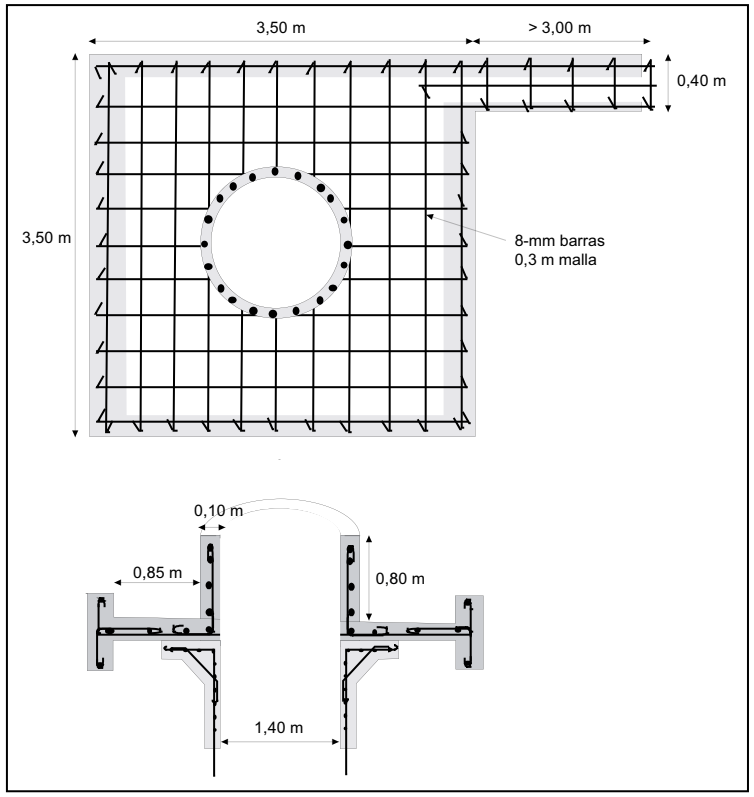


Figura 27:
Plano y sección de las obras superficiales de un pozo.

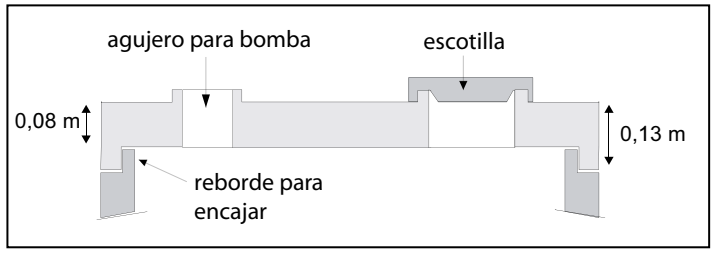


Figura 28:
Tapa del pozo y escotilla de inspección.

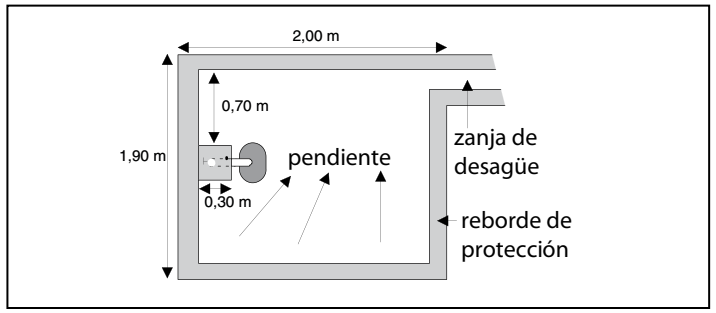


Figura 29:
Plano general de una columna de grifos con la pileta (faldón).

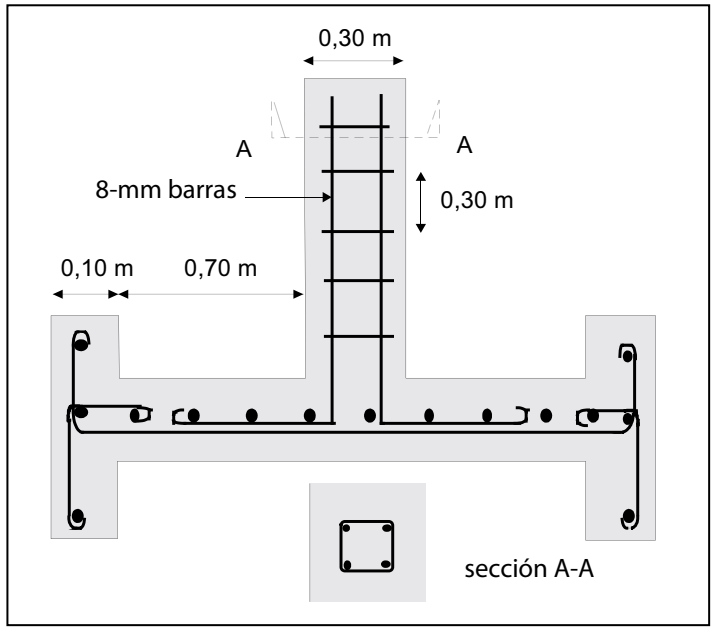


Figura 30:
Refuerzo para la columna de grifos y la pileta.

3 INFORMACIÓN ADICIONAL

3.1 Esfuerzos de las estructuras y tipos de reforzamiento

Para hacer un uso correcto del hormigón armado, es preciso determinar con exactitud las cargas soportadas por las estructuras y su efecto sobre el posicionamiento de las barras de refuerzo. Se dan a continuación dos ejemplos para ilustrar con rapidez los procedimientos a seguir.

3.1.1 VIGAS Y LOSAS SOBRE APOYOS LIBRES

Hay una carga distribuida uniformemente sobre una viga (su propio peso, al que se añade la carga dinámica, sobrecarga de uso – Figura 31A). La viga queda distorsionada por la carga y se puede observar lo siguiente:

– esfuerzo de compresión: la carga crea una deformación que tiende a comprimir el hormigón;

– esfuerzo de tensión: aparece un área tensionada bajo el efecto de la carga, generalmente simétrica con relación al área comprimida;

– esfuerzo tangencial (la reacción de los apoyos origina un esfuerzo que se opone a la carga aplicada, que tiende a agrietar la viga).

Sin el refuerzo adecuado, se producen roturas debidas a los esfuerzos de tensión y a los tangenciales (Figura 31 B).

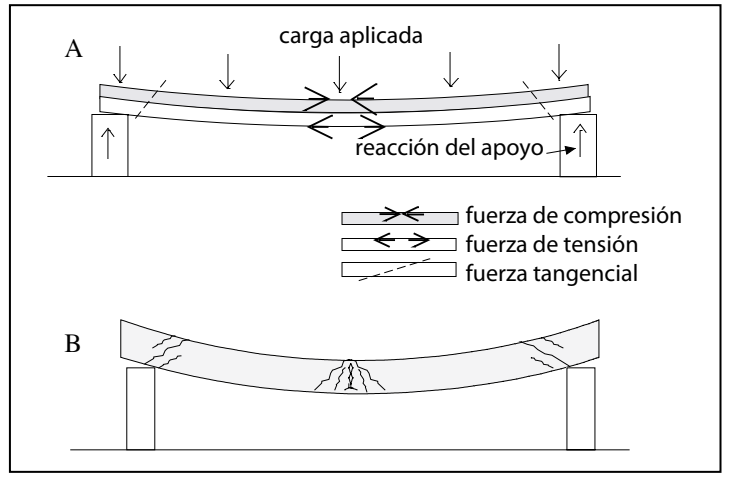


Figura 31:
Viga sin reforzar sobre dos apoyos simples bajo una carga distribuida uniformemente.
A: esfuerzos.
B: agrietamiento y fractura bajo el efecto de la carga.

3.1.1.1 SITUACIÓN DEL REFUERZO EN FUNCIÓN DE LOS ESFUERZOS

Se usan elementos específicos de refuerzo, que dependen de los esfuerzos a soportar:

– las barras principales (Figura 32 A) se colocan en las zonas bajo tensión (esfuerzo de tensión);

– se colocan marcos (armazones) y estribos (Figura 32 B) en las zonas donde se producen los esfuerzos tangenciales, p.ej. principalmente cerca de los apoyos (la reacción del apoyo causa el esfuerzo tangencial). Los marcos se separan progresivamente hacia el punto medio de la viga (donde el esfuerzo tangencial es cero);

– las barras de distribución y/o instalación (Figura 32C) facilitan el montaje de las barras principales con sus marcos y distribuyen el esfuerzo.

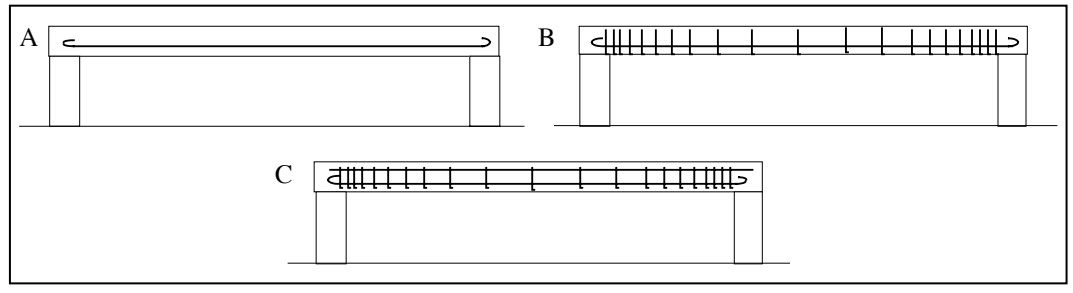


Figura 32: Refuerzo de una viga sobre apoyos libres.
A: colocación de las barras principales en la parte baja de la viga (zona tensionada). B: colocación de los marcos más juntos ceca de los soportes y espaciándose gradualmente hacia el centro de la viga. C: colocación de las barras de distribución para permitir el montaje de los marcos y de las barras principales.

3.1.1.2 EXTRAPOLACIÓN AL CASO DE UNA LOSA APOYADA SOBRE 2 PAREDES (CUBIERTA)

Desde el punto de vista mecánico, una losa es un conjunto de vigas adheridas entre sí, soportando una carga distribuida uniformemente. Los esfuerzos tangenciales son mucho menores que en el caso de una viga (efecto de la geometría), y no se necesitan marcos. Sin embargo, las barras de distribución, colocadas perpendicularmente a las barras principales (atadas con alambre de acero) son necesarias para distribuir la carga a lo largo de toda la superficie de la losa, para evitar un agrietamiento excesivo. (Figura 33).

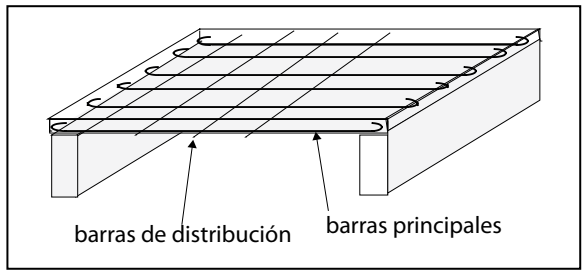


Figura 33:
Refuerzo de una losa apoyada en dos paredes.

3.1.2 PILARES Y PAREDES

Estas estructuras están sujetas a esfuerzos verticales que son a la postre fuerzas de compresión. Sin embargo, si estos elementos son muy altos, las fuerzas pueden actuar en todas las direcciones. Por este motivo se usa el refuerzo (Figura 34) para reabsorber todos estos esfuerzos (evitar el abultamiento y que se comben las columnas a causa de las fuerzas aplicadas).

La altura que provoca el combamiento determina el refuerzo requerido en un pilar. Si la delgadez (altura real del pilar en relación al lado más pequeño) es inferior a 15, se considera que el pilar reacciona solo bajo la compresión y no hay peligro de combamiento.

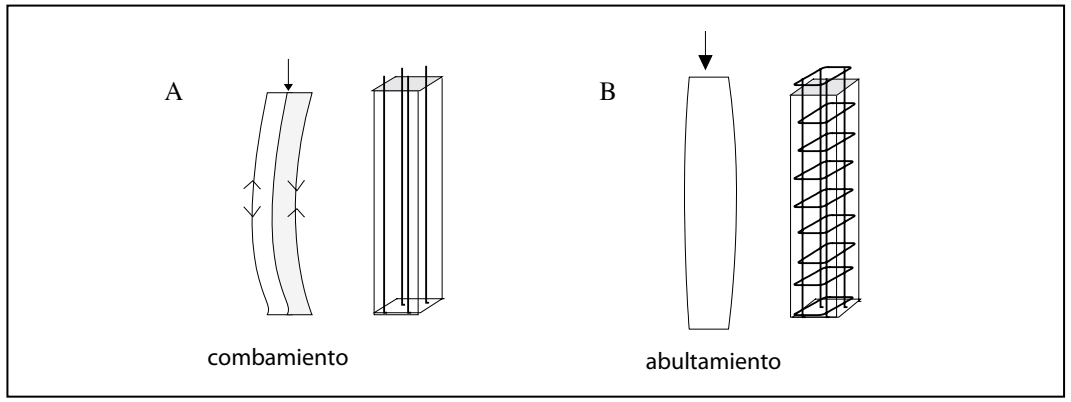


Figura 34: Reforzamiento de una columna para reabsorber todas las fuerzas que actúan sobre la estructura. A: para evitar el combamiento, que deforma la columna y conduce a un esfuerzo de tensión, se usa un refuerzo longitudinal. B: el abultamiento de una sección se disminuye colocando marcos (armazones) transversales, que facilitan, a su vez, la colocación de las barras longitudinales.

3.2 Cálculo de estructuras y trabajos comunes en hormigón armado

3.2.1 INTRODUCCIÓN Y MÉTODO

Se usa el método siguiente para calcular estructuras corrientes de hormigón armado:

– escoger los esfuerzos esperados (τ) sobre los materiales (hormigón y acero);

– dimensionar el elemento de hormigón armado: altura/anchura de la viga, sección del pilar, espesor de la losa y el arco;

– identificar los esfuerzos: peso estructural, presión del agua en un tanque, empuje del terreno (o del agua) sobre un muro de retención, peso de un vehículo sobre una alcantarilla;

– identificación de las cargas que actúan sobre estos elementos: compresión simple, desgarros (reacción de los apoyos sobre los que se sitúa la estructura), torsión (tensión y compresión sobre la estructura), fuerzas periféricas (tanques circulares);

– cálculo de las secciones de las barras de refuerzo y de su espaciado para soportar estos esfuerzos (Cuadro 5). Se propone el siguiente método simplificado: solo se calcula la sección de las barras principales, y con este cálculo se obtendría proporcionalmente la sección de las barras de distribución a utilizar.

Cuadro 5.
Tabla para la selección de las barras de refuerzo

En la práctica, los cálculos de las estructuras de hormigón armado dan secciones de barras que dependen de los esfuerzos experimentados por un elemento (viga, losa, pilar, etc.)

La Tabla I determina el diámetro y número de barras por metro, dependiendo de la sección de barra calculada.

Tabla I: Características del refuerzo de acero.

Diámetro	Peso	Sección	Malla (cm)/número de barras por metro								
(mm)	(kg/m)	de 1 barra (cm^2)	50 2/m	35 3/m	25 4/m	20 5/m	17 6/m	15 7/m	12,5 8/m	11 9/m	10 10/m
5	0,15	0,2	0,39	0,59	0,79	0,98	1,18	1,37	1,57	1,77	1,96
6	0,21	0,28	0,57	0,85	1,13	1,41	1,7	1,98	2,26	2,54	2,83
8	0,38	0,5	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03
10	0,59	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,5	6,28	7,07	7,85
12	0,85	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31
14	1,16	1,54	3,08	4,62	6,16	7,7	9,24	10,78	12,32	13,85	15,39
16	1,51	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,1	20,11
20	2,36	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27	31,42
25	3,68	4,91	9,82	14,73	19,64	24,54	29,45	34,36	39,27	44,18	49,09
32	6,03	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,3	64,34	72,38	80,42
40	9,43	12,57	25,13	37,7	50,27	62,83	75,4	87,96	100,5	113,1	125,6

3.2.2 EJEMPLOS DE APLICACIÓN

3.2.2.1 LÍMITES SUPUESTOS DE LOS ESFUERZOS DE LOS MATERIALES

Los límites esperados de la resistencia para el hormigón y el acero se muestran en las Tablas XXVI y XXVII.

Tabla XXVI: Límites de resistencia para hormigones de mala calidad (el tamaño de los estériles y las cantidades de agua y cemento no se han controlado con cuidado).

Mezcla de hormigón (kg de cemento/m^3)	Resistencia (kg/cm^2)
250	46
300	58,5
350	68,5
400	76,5

Tabla XXVII: Límite de resistencia para los aceros. En aplicaciones de suministro de agua, se recomiendan barras HA con una resistencia de 1.650 kg/cm2, para evitar grietas que serían especialmente perjudiciales (corrosión del acero). El límite de elasticidad es aquella fuerza máxima a partir de la cual el material de la barra se deforma permanentemente (no retorna a su estado inicial tras la eliminación de la fuerza.)

	Límite elástico (kg/cm^2)	Límite del esfuerzo (kg/cm^2)
Barras de superficie lisa	2 200 – 3 400	1 470 – 2 270
Barras altamente adhesivas (HA)	4 200 – 5 000	2 700 – 3 300

3.2.2.2 DIMENSIONAMIENTO DE SECCIONES DE HORMIGÓN

Las características geométricas de la estructura permiten la determinación empírica de la sección de hormigón (Tabla XXVIII), excepto para tanques rectangulares (ver Sección 2).

Tabla XXVIII: Cálculo rápido de secciones de hormigón para estructuras comunes.

Tipo de estructura	Parámetros a dimensionar	Determinación del parámetro (cm)
Pilar de sección	Altura (mínimo de 15 cm)	1/14,4 veces altura de torsión del cuadrada pilar ($d_{oblado} = 0,7\ r_{eal}$)
Viga	Altura (mínimo de 15 cm)	1/10 a 1/15 del arco de la viga
	Anchura (mínimo de 10 cm)	Anchura = 0,3 Altura
Losa sobre 4 apoyos	Espesor	1/20 del arco
Losa sobre 2 paredes	(mínimo de 8 cm)	1/30 del arco
Losa sobre 4 paredes		1/40 del arco
Pared de un tanque circular	Espesor (mínimo de 8 cm)	s = 0,22 x D x H
Pared de un tanque rectangular	Espesor (mínimo de 8 cm)	ver Sección 2.2.7.2

3.2.2.3 FUERZAS APLICADAS A ESTRUCTURAS Y ESFUERZOS RESULTANTES (MOMENTOS)

Hay dos tipos de cargas, estáticas G (peso de la estructura, agua en un tanque) y dinámicas P (Tabla XXIX). La carga total es la siguiente:

$$S = G + 1,2\ P$$

Para estructuras de suministro de agua (sujetas a una presión de agua) tales como las paredes y fondos de tanques:

$$S = 1,2\ G$$

Tabla XXIX: Cálculo de cargas estáticas y dinámicas.

Cargas permanentes sobre las estructuras	
Mampostería de piedras	2 500 kg/m^3
Bloques de carga vacíos	1 500 kg/m^3
Hormigón – hormigón armado	2 400 – 2 500 kg/m^3
Losa de hormigón armado	25 kg/m^2/cm de espesor
Cargas dinámicas (sobrecarga de uso) de forjados	
Espacios privados	200 kg/m^2
Espacios públicos	500 kg/m^2

3.2.2.4 ESFUERZOS SOBRE LAS ESTRUCTURAS, MOMENTOS DE TORSIÓN.

Los esfuerzos sufridos por las estructuras cuando se les aplica una carga (o fuerza) se caracterizan por los momentos. El cálculo de los momentos depende de las cargas sufridas (uniformes o puntuales, punto y dirección en que se aplica la fuerza) y el tipo de estructura (si está unida a otros elementos de hormigón armado o no). Los momentos son distintos en cualquier punto de la estructura. Por ejemplo, el momento en el centro de la losa sobre apoyos libres es máximo, mientras que en los apoyos es cero. Cuando se diseña una estructura hay que determinar el momento máximo.

Diagramas de momentos de curvatura.

El caso más corriente es el momento simple de curvatura, que incorpora la tensión y la compresión. Estas cargas que producen curvatura se pueden representar en diagramas que son útiles para entender las cargas sobre las estructuras y para situar el refuerzo. Dos ejemplos de diagramas de momentos de curvatura se refieren a una viga (o losa) sujeta a una carga uniformemente distribuida y a las paredes de un tanque rectangular expuesto a la presión del agua.

Viga o losa

Los momentos de las tres configuraciones estándar – apoyos libres, semifijos y fijos – se muestran en la Figura 35. Los esfuerzos (y el cálculo de los momentos, Tabla XXX) experimentados por estos tres tipos de vigas son diferentes. El momento máximo de combado se localiza en el centro de la viga.

Tabla XXX: Cálculo del momento máximo de torsión para una carga uniformemente distribuida en tres configuraciones estándar de vigas.
P: peso de la carga (kg) L: arco de la viga (m) BM: momento de torsión (kg/m).

Viga sobre apoyos libres	Momento máximo en el centro	BM = – P x L^2/8
	Cerca del apoyo	= 0
Viga semifija	Momento máximo en el centro	BM = – P x L^2/10
	Cerca del apoyo	= + P x L^2/24
Viga fija	Momento máximo en el centro	BM = – P X L^2/12
	Cerca del apoyo	= + P x L^2/12

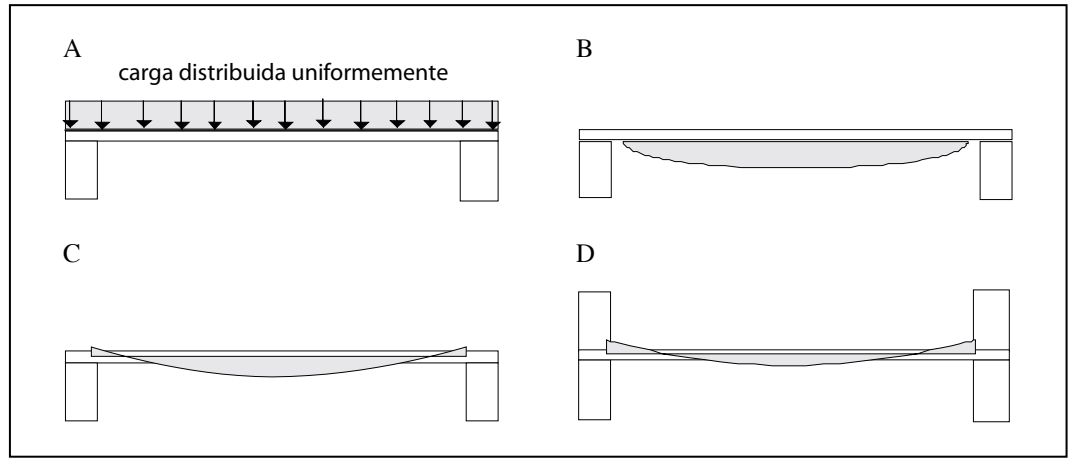


Figura 35: Esfuerzos sobre una viga.
A: carga distribuida uniformemente.
B: momento sobre dos apoyos.
C: momento sobre dos apoyos semifijos.
D: momentos sobre dos apoyos fijos.

Los momentos de curvatura opuestos a la dirección en que se aplica la carga aparecen cuando la viga es semifija o completamente fija. El área bajo tensión se reduce considerablemente entonces, casi el 50 % de la de una viga fija. Siempre que sea posible, se debe procurar hacer vigas y losas semifijas (con el refuerzo de la columna ligado al refuerzo de la viga).

Tanque rectangular de agua elevado y sujeto a una presión de agua

El diagrama de momentos de curvatura para las paredes de un tanque rectangular de agua elevado sujeto a la presión del agua se indica en la Figura 36. Las paredes son fijas (ligadas unas a las otras) y los momentos resultantes de esta ligazón se pueden detectar en los ángulos, que requieren refuerzos (ver Sección 2).

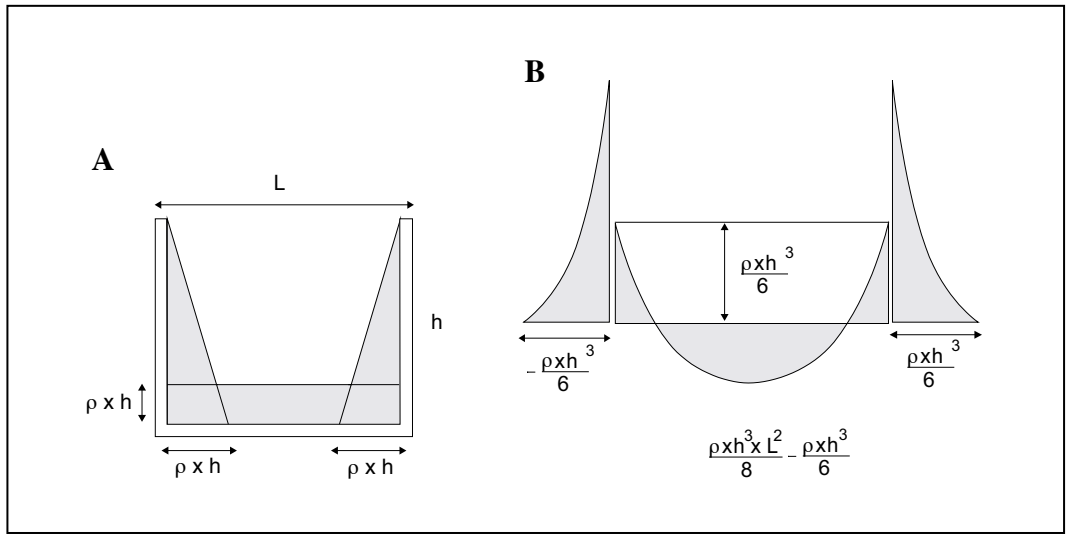


Figura 36: Tanque rectangular sujeto a la presión del agua.
A: Diagrama de fuer-zas (presión) producidas por el peso del agua contenida.
B: Diagrama del mo-mento de tensión en una sección vertical de la pared.
h: Altura del agua (m), ϱ: densidad (kg/m³).

3.2.3 EJEMPLOS DE CÁLCULOS EN EL DISEÑO

3.2.3.1 COLUMNAS

En el ejemplo de una columna que solo está sujeta a un esfuerzo de compresión, p.ej. sin combamiento, permite la determinación de la sección de la columna como función de su altura.

Dimensiones

$$a = l_f/14{,}4$$

en la que "a" es la dimensión menor y l_f la longitud del combamiento. Esta longitud depende de la longitud real de la columna l_o y del tipo de columna (fijo o de otra clase). La longitud l_f a la que aparece la torsión se calcula por:

$$l_f = 0{,}7 \text{ x } l_o$$

Y la sección concreta de la columna es:

$$A_{hormigón} = a^2$$

Cálculo de la carga máxima

La columna no tiene una carga superior a 50 kg/cm², de modo que:

$$\text{Carga máxima (kg)} = 50 \text{ x } a^2$$

Este cálculo no tiene en cuenta la sección de las barras de refuerzo de la columna. En caso de columnas pequeñas, para las que la sección (A_{acero}) es significativa en relación a la sección del hormigón ($A_{hormigón}$, ya definida), se puede calcular una sección equivalente (A_{eq}.) con:

$$A_{eq} = A_{hormigón} + (15 \cdot A_{acero})$$

Obteniendo por tanto:

$$\text{Carga máxima (kg)} = 50 \cdot A_{eq}$$

Este cálculo ayuda también a verificar las dimensiones de una columna y las condiciones bajo las que no hay combamiento (Tabla XXXI).

Tabla XXXI: Ejemplo de cálculo de una columna de hormigón armado con una carga de hasta 50 kg/cm²

CÁLCULO	
Datos	
Altura de columna requerida	4 m
Diámetro de las barras de refuerzo verticales	12 mm
Cálculo de las dimensiones	
Altura para la torsión	2,8 m
Dimensión del lado menor	20 cm
Carga máxima sobre la columna[1]	20 t
Carga máxima sobre la columna[2]	24 t
VERIFICACIÓN DE UNA COLUMNA YA CONSTRUIDA	
Datos	
Altura real	4 m
Dimensión del lado menor	15 cm
Diámetro de las barras verticales de refuerzo	12 mm
Carga total sobre la columna	20 t
Carga sobre la columna y relación de la torsión3	
Relación de carga sobre el pilar	69 kg/cm²
Coeficiente de la carga de torsión	19

1. Cálculo sin tener en cuenta las barras de refuerzo.
2. Cálculo teniendo en cuenta las barras de refuerzo a compresión.
3. Este ejemplo demuestra que si la carga es superior a 50 kg/cm², la columna está infradimensionada. De la misma manera, si la relación de carga de torsión es superior a 14,4, la carga ha de ser inferior a 50 kg/cm².

Nota.- A la hora de diseñar una columna, el refuerzo (A_{acero}) no se tiene en cuenta (la columna se calcula en compresión simple). Por otra parte, la columna lleva siempre refuerzo (ver Sección 2) y la A_{acero} se tiene en cuenta cuando la carga admisible se verifica posteriormente.

3.2.3.2 LOSAS EN FLEXIÓN SIMPLE

- Diseño de la sección de hormigón (Sección 2)
- Cálculo del peso total por m² de losa (carga estática + dinámica).
- Cálculo del momento máximo sobre la losa (Tabla XXXII).
- Cálculo de la sección de refuerzo en flexión con la fórmula aproximada:

$$A_{acero} = M/ (\tau_{acero} \cdot z)$$

en la que M es el momento (kg/m), τ la carga límite de las barras de refuerzo (kg/cm²) y z el apalancamiento (flecha) en la estructura (cm), calculada con $z = 7/8 \cdot t$, en la que t es el espesor de la losa.

Los cálculos y detalles del diseño se resumen en la Tabla XXXIII.

Tabla XXXII: Momento máximo sobre una losa.

Tipo de losa	Momento máximo en el centro
Losa rectangular sobre dos apoyos libres (2 muros)	$(P \times L^2)/8$
Losa rectangular semifija (sobre 2 muros)	$(P \times L^2)/10$
Losa circular apoyada en toda la periferia	$(P \times L^2)/20$

Tabla XXXIII: Cálculos para la construcción de una losa rectangular a flexión sobre dos apoyos (muros)

DATOS	
Características geométricas	
Arco de la losa	4 m
Tipo de losa[1]	semifija
Carga dinámica	500 kg/m^2
Barras disponibles en el terreno	
Diámetro para las barras principales	12 mm
Diámetro de las barras de distribución	8 mm
RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS	
Dimensiones	
Grosor de la losa[2]	14 cm
Carga total[3]	850 kg/cm^2
Momento máximo sobre la losa	1 360 kg·m
Refuerzo del muro[4]	
Cálculo de la sección de las barras principales	9 cm^2
Diámetro real de las barras principales	12 mm
Malla real de de las barras principales	13 cm
Cálculo de la sección de las barras de distribución	3 cm^2
Diámetro real de las barras de distribución	8 mm
Malla real de las barras de distribución	17 cm

1. La losa puede ser semifija o sobre apoyos libres y apoyada sobre dos muros continuos, sobre columnas o sobre los cuatro costados.
2. Para una losa apoyada sobre dos muros.
3. Carga total = carga estática + sobrecarga de uso.
4. La malla de refuerzo debe ser de entre 10 y 30 cm; si se requieren otras cantidades de acero, es conveniente cambiar el diámetro de las barras a usar, en vez de salirse de estos límites.

3.2.3.3 DISEÑO ECONÓMICO DE TANQUES DE HORMIGÓN ARMADO

Las dimensiones dadas en la Tabla XXXIV no son aplicables a tanques de gran capacidad porque la altura no debe sobrepasar los 4 m. Los tanques octogonales o hexagonales son también aceptables, pero la primera opción serán los tanques circulares.

Tabla XXXIV: Dimensiones óptimas desde el punto de vista económico para la construcción de un tanque de hormigón armado.

Tanque cilíndrico	Cubierto (losa)	Diámetro = altura
	Abierto	Diámetro = 2 x altura
Tanque de base cuadrada	Cubierto	Lado = altura
	Abierto	Lado = ½ altura

3.2.3.4 TANQUE CIRCULAR

En los tanques circulares, la carga sobre la circunferencia es crucial. –Se considera, por tanto, que las barras circulares horizontales (barras principales) soportan el esfuerzo en la circunferencia, mientras que las verticales (barras de distribución) resisten la presión sobre las paredes.

Las barras de la base resisten el peso de la capa de agua.

– Cálculo del espesor de la pared (e – mínimo de 10 cm)

$$e = 0{,}22 \cdot D \cdot H$$

Cálculo de las secciones de las barras horizontales, a cada metro de altura a lo largo de todo el tanque.

$$A_{acero} = P \cdot R / \tau_{acero}$$

en la que A es la sección de la barra (cm^2) por metro de altura, H es la altura de agua (m) y R el radio del tanque (m). El valor de P es 1 200 H (kg/m) y τ_{acero} = 1 650 kg/cm^2.

La densidad del agua se multiplica por un factor de 1,2 para tener en cuenta el efecto de llenado y vaciado del tanque.

– Cálculo de la sección de las barras de distribución verticales por metro de altura del tanque:

$$A_{vertical} = 1/3 \cdot A_{horizontal}$$

– Refuerzo de la base, ver Sección 2.2.4.2.

Todas estas secciones calculadas (cm^2) se pueden convertir en secciones reales (diámetro de barra y malla) usando la Tabla XXXV.

Tabla XXXV: Cálculo simplificado para un tanque circular pequeño y cubierto (< 200 m^3).

DATOS	
Características geométricas	
Altura de agua en el tanque	4 m
Diámetro interno del tanque	6 m
Capacidad del tanque	113 m^3
Barras disponibles en el terreno	
Diámetro de las barras principales	12 mm
Diámetro de las barras de distribución	8 mm
RESULTADO DE LOS CÁLCULOS	
Dimensiones	
Espesor de la pared vertical	10 cm
Altura real del tanque	4,3 m
Diámetro externo del tanque	6,2 m

Refuerzo con secciones horizontales de 1 m[1] (A = sección de barra en cm^2.)

Sección	PR (kg)	$A_{horizontal}$ calculada (cm^2)	$A_{horizontal}$ real (12 mm) malla (cm)	$A_{vertical}$ calculada (cm^2)	$A_{vertical}$ real (8 mm) malla (cm)
0 – 1 m	1 800	2	57	1	30
1 – 2 m	5 400	4	29	2	30
2 – 3 m	9 000	6	19	2	15
2 – 4 m	12 000	8	15	3	15

1. La malla debe ser de entre 10 y 30 cm: si se requieren otras cantidades de acero, es conveniente cambiar el diámetro de las barras a usar, en vez de salirse de estos límites.

3.2.3.5 TANQUES RECTANGULARES

Para tanques con capacidades inferiores a 10 m^3, cubiertos con enlaces entre las paredes y la losa, se pueden aplicar los cálculos simplificados del refuerzo dados en la Tabla XXXVI. Las barras principales son las verticales que resisten la presión del agua sobre las paredes y las barras horizontales son las de distribución.

Tabla XXXVI: Cálculo simplificado de un tanque rectangular cubierto de una capacidad inferior a 100 m^3.

DATOS	
Características geométricas	
Altura de agua	3 m
Anchura interna del tanque	6 m
Longitud interna del tanque	4 m
Capacidad del tanque	72 m^3
Barras disponibles en el terreno	
Diámetro de las barras principales	16 mm
Diámetro de las barras de distribución	12 mm
RESULTADO DE LOS CÁLCULOS	
Dimensiones	
Momento máximo	4.500 kg·m
Espesor de las paredes verticales	14 cm
Altura real del tanque	3,3 m
Anchura externa del tanque	6,28 m
Longitud externa del tanque	4,28 m
Refuerzo de la pared[1]	
Sección calculada de las barras principales por metro de longitud	23 cm^2
Diámetro real de las barras principales	16 mm
Malla real de las barras principales	9 cm
Sección calculada de las barras de distribución por metro de altura	8 cm^2
Diámetro real de las barras de distribución	12 mm
Malla real de las barras de distribución	15 cm

1. La malla no debe superar los 30 cm Si se requiere menos acero se puede reducir el diámetro de las barras en vez de exceder este tamaño de malla.

Momento máximo de curvatura debido al empuje del agua sobre la pared vertical:

$$M_{max} = \varrho \cdot H^3/6$$

en la que M_{max} viene en kg·m, ϱ es la densidad (kg/m^3) y H la altura de agua (m).

Espesor de la pared en función de M_{max}:

$$t = 2 \cdot \sqrt{M_{max}}/100$$

en la que M_{max} está en kg·m y t en cm

Sección de las barras verticales por metro de longitud de la pared:

$$A_{barra} = M/\tau_{acero} \cdot Z$$

en la que A es la sección de la barra (cm^2), $M = M_{max}$ (kg·cm), z = 7/8·t (cm) y τ_{acero} = 1 650 kg/cm^2.

Sección de las barras horizontales por metro de altura de la pared:

$$A_{horizontal} = \frac{1}{3} \cdot A_{barras\ verticales}$$

Para el refuerzo de la base ver Sección 2.2.4.2.

3.2.3.6 TANQUE RECTANGULAR ELEVADO

El cálculo es igual al indicado anteriormente (ver Sección 3.2.3.5) excepto para la losa de base y las columnas (para un cálculo rápido, ver Sección 2). Las cargas estáticas corresponden a la suma del peso del agua, las paredes y las losas de hormigón armado (tapa y fondo).

El ejemplo dado en la Figura 37 y Tabla XXXVII corresponde a un tanque hecho con módulos de 5 m^3 añadidos unos a otros para aumentar la capacidad (5, 10, 15 m^3). Durante la construcción es necesario construir cimentaciones adecuadas (hay una carga grande sobre los pilares), así como un cinturón uniendo los pilares a la base.

También es necesario asegurarse de que las columnas son perfectamente verticales. Esto se consigue con el encadenado intermedio, cada dos metros, de las estructuras más altas de 3 m

Tabla XXXVII: Cálculos simplificados para un tanque rectangular elevado de baja capacidad (módulo de 5 m^3).

DATOS	
Características geométricas del módulo (tanque apoyado)	
Altura de la estructura portante	3m
Altura del tanque	2 m
Anchura	1,5 m
Longitud	2 m
Capacidad	5 m^3
DIMENSIONES DEL TANQUE	
Paredes	
Espesor	10 cm
Refuerzo vertical	diámetro 12 mm / malla 10 cm
Refuerzo horizontal	diámetro 8 mm / malla 13 cm
Forjado de base	
Espesor	10 cm
Refuerzo principal	diámetro 12 mm / malla10 cm
Refuerzo de distribución	diámetro 8 mm / malla 13 cm
Cubierta	
Espesor	8 cm
Refuerzo principal	diámetro 8 mm / malla 15 cm
Refuerzo de distribución	diámetro 8 mm / malla 30 cm
DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA DE APOYO	
Vigas	
Arco	1,5 m
Sección	15 x 30 cm
Refuerzo principal	2 barras de 12 mm de diámetro
Columnas	
Altura	3 m
Sección	15 x 15 cm
Refuerzo principal	2 barras de 12 mm de diámetro

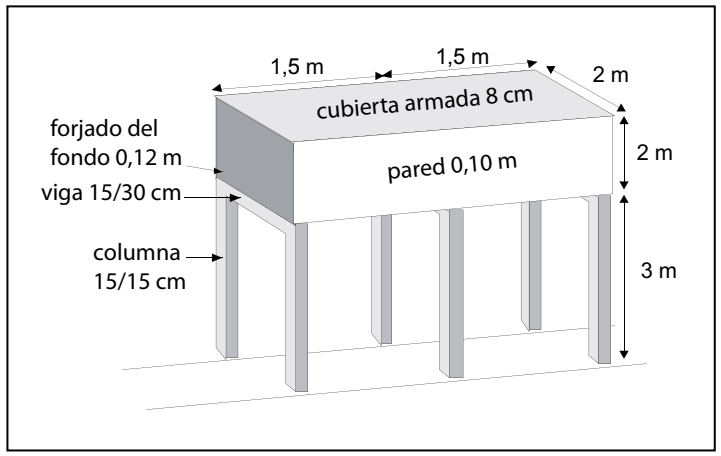


Figura 37:
Tanque rectangular elevado.

3.2.3.7 MUROS DE CONTENCIÓN DE HORMIGÓN ARMADO

Las características del terraplén a contener, para su consideración en el diseño de un muro de contención son como sigue (Figura 38 y Tabla XXXVIII):

– θ, el ángulo natural del terraplén antes de la construcción del muro. Cuanto menor sea el valor de θ menos estable será el terreno y más difícil de contener.

– A, coeficiente de empuje, que tiene en cuenta el tipo de suelo, y por tanto θ y $\tau_{suelo.}$

– f, el coeficiente de fricción, característico de la resistencia al desplazamiento del hormigón respecto del suelo (cuanto menor sea f, mayor propensión a resbalar de la base del muro a causa del empuje del terreno.

Tabla XXXVIII: Características del suelo a tener en cuenta en el diseño de un muro de contención de un terraplén.

Tipo de suelo	ρ_{suelo} (kg/m^3)	θ pendiente Original	A coeficiente de empuje	f coeficiente de fricción
Suelo rico en materia orgánica	1,450	45	0,171	
Suelo arcilloso	1,800	45	0,171	
Suelo de ladrillo	1,900	55	< 0,130	
Arena fina	1,420	30	0,333	
Suelo arenoso	1,700	35	0,270	
Arcilla y barro	1,850	20	0,490	
Piedras, gravas	1,550	45	0,171	
Arcilla húmeda				0,3
Arcilla seca				0,5
Arena				0,4
Grava				0,6

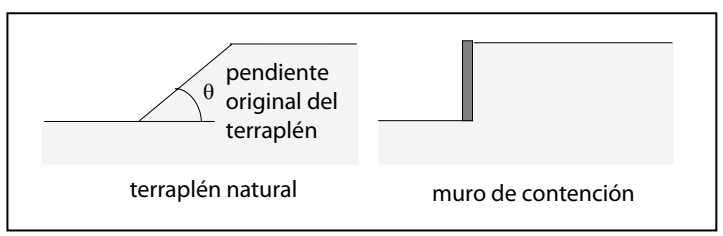


Figura 38:
Muro de contención de un terraplén.

– Q, el empuje del suelo, se calcula con:

$$Q = A \times \varrho_{suelo} \cdot h^2/2$$

en el que el coeficiente adimensional A está en función del ángulo original del suelo, ϱ_{suelo} es el peso específico del suelo y h la altura del muro (Figura 39). Las fuerzas que actúan sobre el muro son P (peso estático del muro, peso de la tierra sobre la base y otras cargas por parte del terraplén) y Q (empuje del suelo).

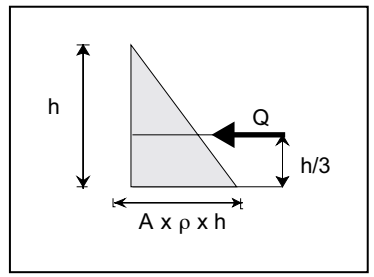


Figura 39: Empuje del suelo sobre un muro de contención.

Los momentos a considerar son:

– Momento de vuelco (Mr), en función del empuje Q y del brazo de palanca relativo al punto de vuelco ($Mr = Q \cdot z_r$);

– Momento de estabilización (Ms), en función del peso P y del brazo de palanca relativo al punto de vuelco ($Ms = P \cdot z_s$).

Para el cálculo de muros de contención, se deben cumplir las condiciones para que no haya vuelco ni desplazamiento (Figuras 40 y 41).

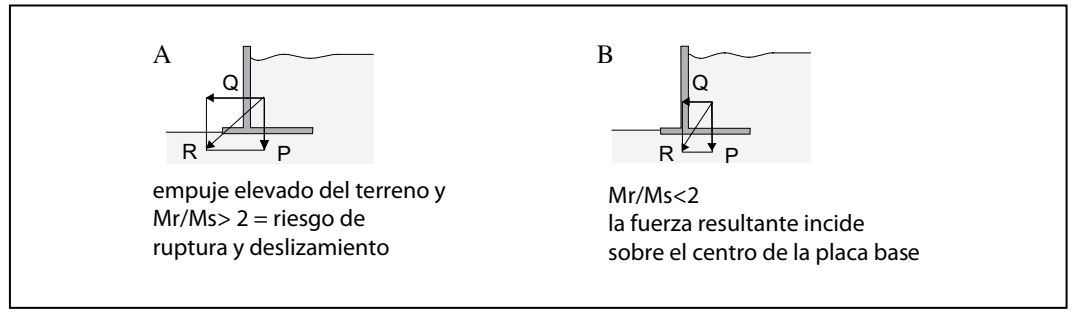


Figura 40: Condiciones para que no haya vuelco ni desplazamiento.
A: sin vuelco (Mr/Ms < 2).
B: sin desplazamiento (Q/P < f).

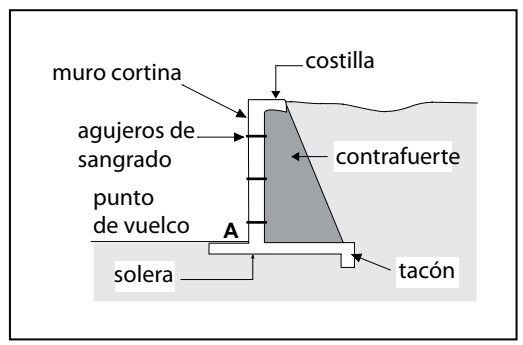


Figura 41:
Configuración típica de un muro de contención de hormigón armado. Agujeros de sangrado cada 2 – 3 m² para evitar acumulación de agua (que causaría un empuje adicional al del terreno); tacón, un anclaje que se opone al desplazamiento originado por el empuje del suelo; contrafuerte, elemento que asegura la rigidez y proporciona anclaje lateral; solera, cimentación que se extiende por delante del muro cortina para asegurar una distribución mejor de la presión sobre el suelo.

3.2.3.8 CÁLCULO SIMPLIFICADO DE UN MURO DE CONTENCIÓN DE HORMIGÓN ARMADO

El muro se muestra en la Figura 42.

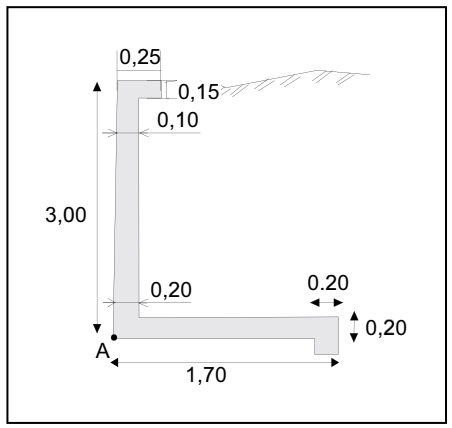


Figura 42: Muro de contención en hormigón armado.

Suposiciones:
- ϱ_{suelo} = 1.600 kg/m^3
- θ = 35º
- coeficiente de fricción f = 0,35
- punto de vuelco A, (los brazos de palanca Z_r y Z_s se calculan a partir de este punto)

Cálculo de las cargas verticales:
- muro cortina: $P_{cortina}$ = (0,1 + 0,2)/2·2,8·2 500 = 1 050 kg/m
- tierra: Pt = 2,8·1,5·1,600 = 6 720 kg/m
- suelo: Ps = 1,7·0,2·2 500 = 850 kg/m
- cargas verticales totales: P = 8 620 kg/m

Cálculo del momento de estabilización:

Momento = fuerza·Z

en la que el momento viene en kg·m, la fuerza en kg/m de longitud y el brazo de palanca Z entre la línea de acción de la fuerza y el punto de vuelco A. Aquí, para 1 m de longitud de muro:
- muro cortina: $M_{cortina}$ = 1 050·0,12 = 126 kg·m
- tierra: M_{tierra} = 6 720·(1,50/2 + 0,20) = 6 384 kg·m
- suelo: M_{suelo} = 850·(1,70/2) = 722,5 kg·m
- momento de estabilización: M_s = 7 232,5 kg·m

Cálculo del empuje – fuerzas horizontales:
- Q = 0,27·1 600·(3^2/2) = 1 944 kg.m de longitud de muro

Cálculo del momento de vuelco:
El empuje se aplica sobre h/3, es decir 1 m sobre A:
- empuje: Mr = 1 944·1 = 1 944 kg·m
- momento de vuelco: Mr = 1 944 kg.m

Verificación de los dos criterios principales:
Condición para que no haya vuelco: la relación entre los momentos de estabilización y de vuelco (M_{estab}/M_{vuelco}) ha de ser superior a 2. Esta condición se cumple claramente aquí:

M_{estab}/M_{vuelco} = 7 232,5/1 944 = 3,7

Condición para que no haya deslizamiento: la relación entre las fuerzas verticales y horizontales debe ser inferior al coeficiente de fricción, así:

Q/P = 1 944/8 620 = 0,23, inferior a f = 0,35

Determinación del refuerzo del muro cortina:
- Cálculo del momento máximo del muro cortina: $Momento_{max}$ = Q·h/3
- Cálculo de la sección de las barras principales: $A_{acero} = (Q \cdot h/3)/ \tau_{acero} \cdot z$

en la que Q es el empuje del suelo (kg/m de longitud), h la altura del muro (m), z el brazo de palanca en el muro (de 20 cm de espesor) y τ_{acero} el límite del esfuerzo sobre las barras de refuerzo (kg/cm^2):

$$A_{acero} = (Q \cdot h/3)/ \tau_{acero} \cdot z = (1\,944 \cdot 2{,}8/3)/1.650 \cdot 17{,}5 = 7 \text{ cm}^2$$

- Conversión a una sección de refuerzo real

Barras principales: diámetro de 10 mm / malla de 11,5 cm
las barras tienen la mitad de la altura alternativamente

Barras de distribución: diámetro de 8 mm / malla de 20 cm en la parte inferior y
diámetro de 6 mm / malla de 20 cm en la parte superior
refuerzo único: como en el muro cortina.

4 ENCOFRADO

Las dimensiones del encofrado vienen determinadas por la estructura a construir y el tipo de encofrado a usar (encofrado deslizante, encofrado de las paredes de un tanque, etc.) El encofrado ha de soportar cargas estáticas elevadas y cargas dinámicas significativas debido a la vibración del hormigón. En el momento de diseñar y usar un encofrado es preciso tener en cuenta:
- los esfuerzos durante el vertido del hormigón;
- sellado;
- facilidad para vibrar el hormigón (vibración interna y externa);
- acabado superficial requerido;
- facilidad para retirar moldes y volverlos a usar.

4.1 Moldes de madera

Este tipo de encofrado es barato, fácil de usar y de modificar (Figuras 43, 44 y Cuadro 6). Permite un secado lento del hormigón y proporciona una superficie rugosa indicada para el buen enlucido posterior. Las herramientas requeridas para montar y desmontar el molde son puntales (generalmente de madera), grapas y ganchos.

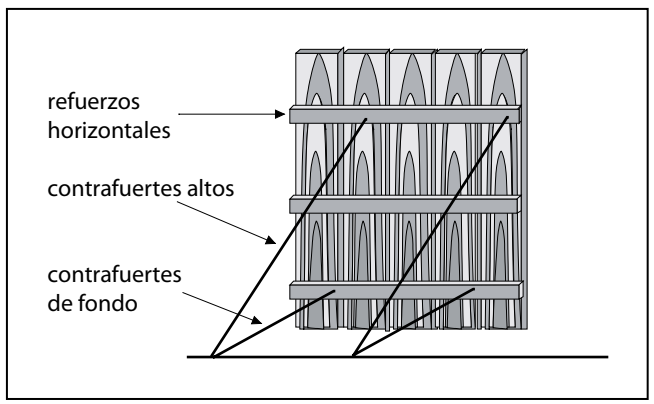


Figura 43:
Molde de madera con puntales y refuerzos horizontales y verticales que proporcionan rigidez, evitando la deformación debida al peso del hormigón.

Cuadro 6.
Cálculos para un encofrado circular de 16 elementos

Para un tanque circular de 16 elementos (Figura 1), se determinan inicialmente las características de un elemento del molde (Figura 2). Aquí, el ángulo de un elemento del molde es $\theta = 2\pi/16 = 23{,}75^{\circ}$.

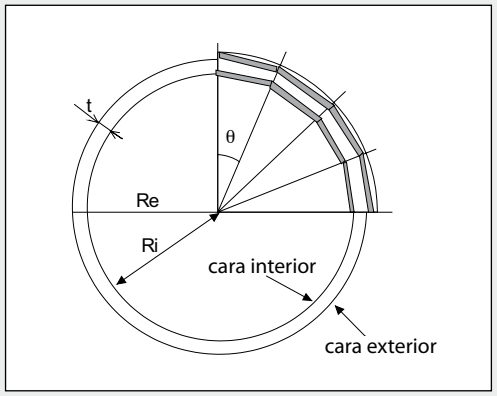


Figura 1:
Molde para un tanque circular de 16 elementos.

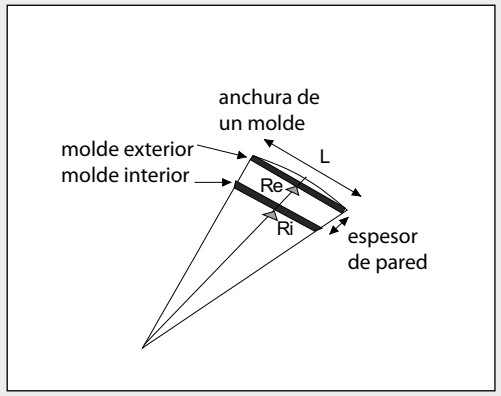


Figura 2:
Proyección geométrica de un elemento del molde.

La anchura de un elemento interior del molde es $L_i = 2R_i \tan \alpha$. La anchura del elemento exterior del molde es $L_e = 2R_e \tan \alpha$, siendo el ángulo $\alpha = \theta /2$, y R_e y R_i los radios externos e internos de modo que $R_e = R_i + t$.

Ejemplo de un tanque de 3 m de diámetro y 3,5 m de altura (Figuras 3 y 4):

$\theta = 2 \times \pi/16 = 23{,}75^{\circ}$ $\alpha = \theta /2 = 11{,}8^{\circ}$

$L_i = 2 \times 1{,}5 \times \tan 11{,}8 = 0{,}626$ m $L_e = 2 \times (1{,}5 + 1{,}1) \times \tan 11{,}8 = 0{,}668$ m $t = 10$ cm

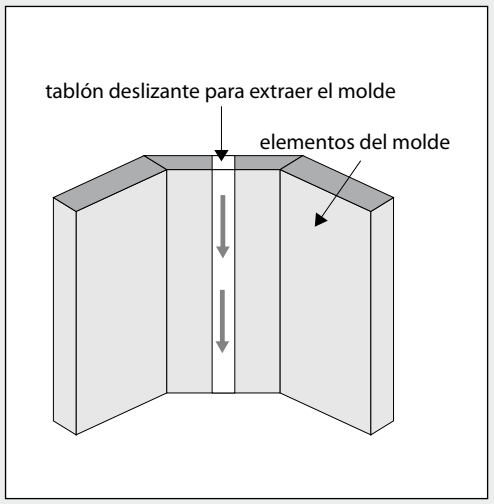


Figura 3:
Interior del molde, para toda la altura del tanque o a trozos, deslizante (varios moldeados.

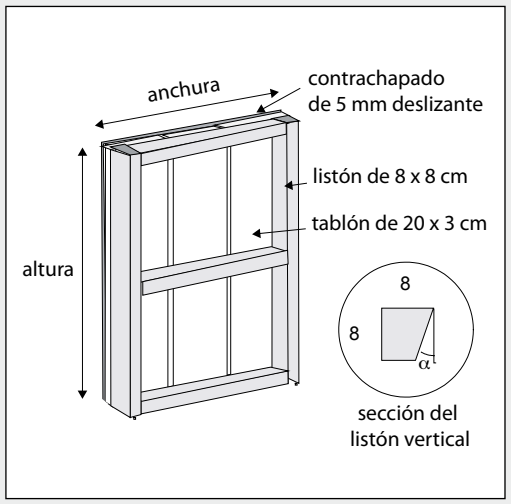


Figura 4:
Madera deslizante de un elemento para quitar el molde (probalemente se necesitarán varias unidades).

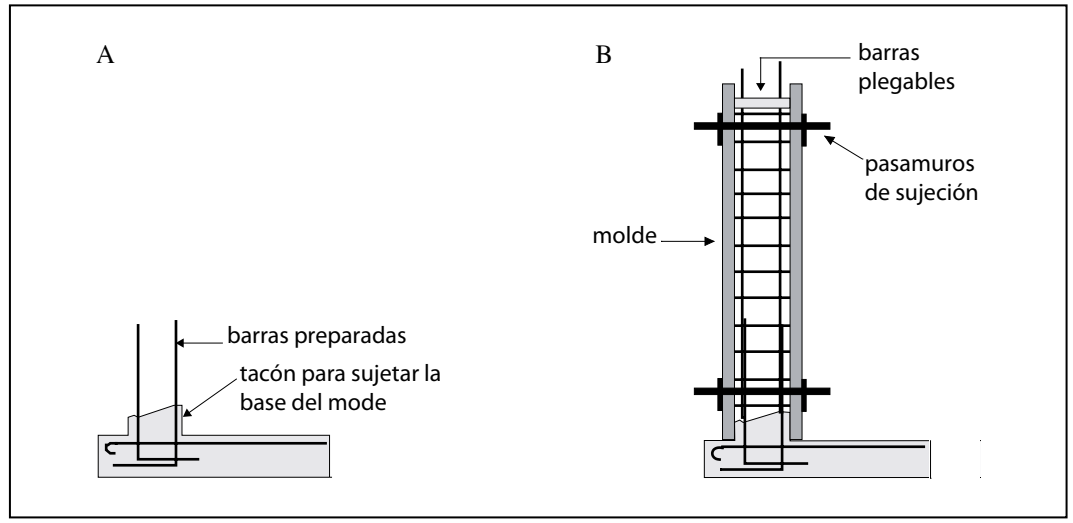


Figura 44: Molde para una columna o muro cortina. A: antes de colocar el molde y re-fuerzo. B: molde y refuerzo colocados.

4.2 Moldes metálicos, moldes para pozos

Este tipo de forjado se usa corrientemente para trabajos que requieren precisión, un acabado superficial fino, y un uso repetido de los moldes. Algunos ejemplos de aplicaciones son la fabricación de anillos de hormigón (Figura 45), anillos de avance (Figura 46), entibado de pozos (Figura 47) o brocales de pozos (Figura 48). Deben guardarse de pie para evitar deformaciones.

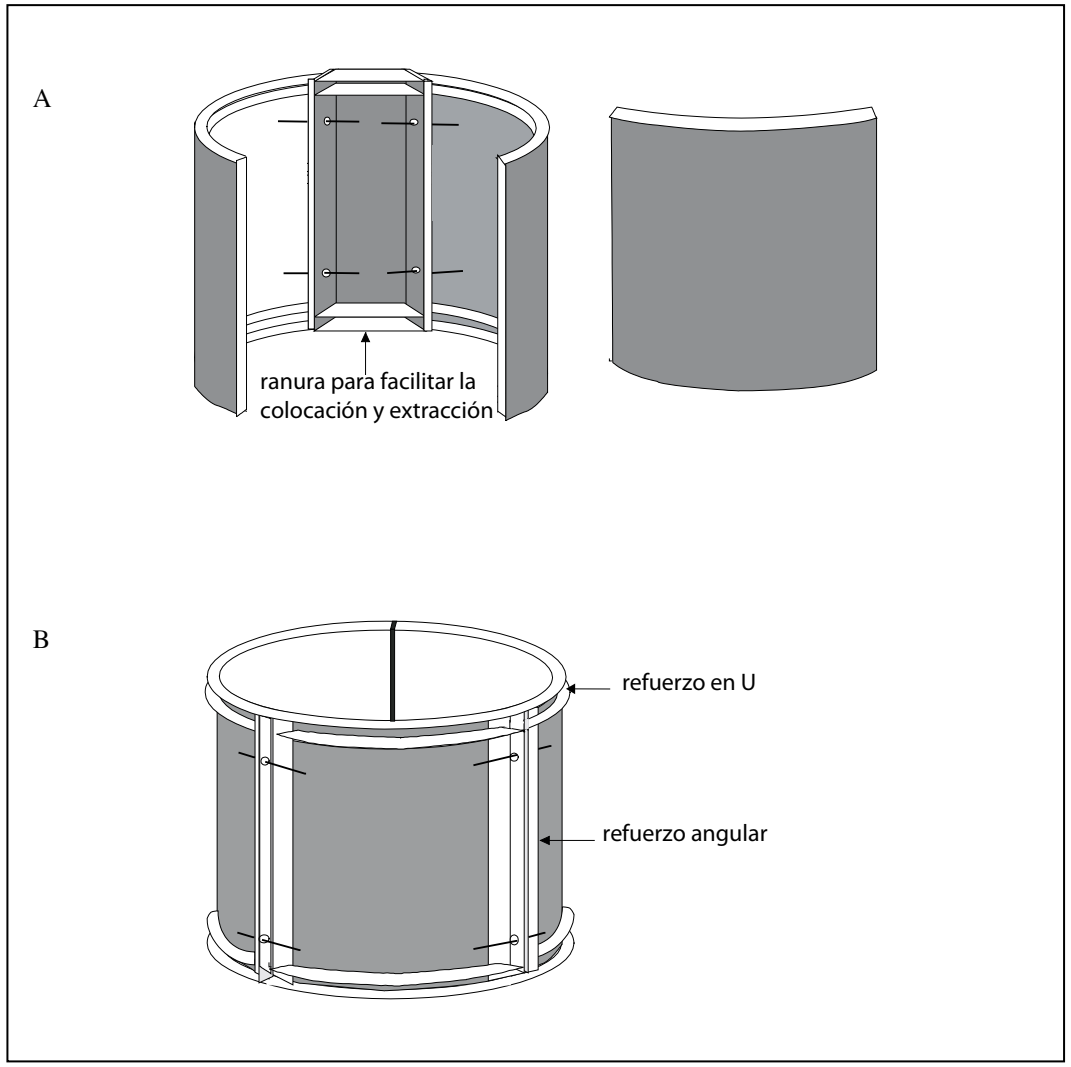


Figura 45: Molde metálico para forjar anillos de hormigón. A: molde interno. B: molde externo.

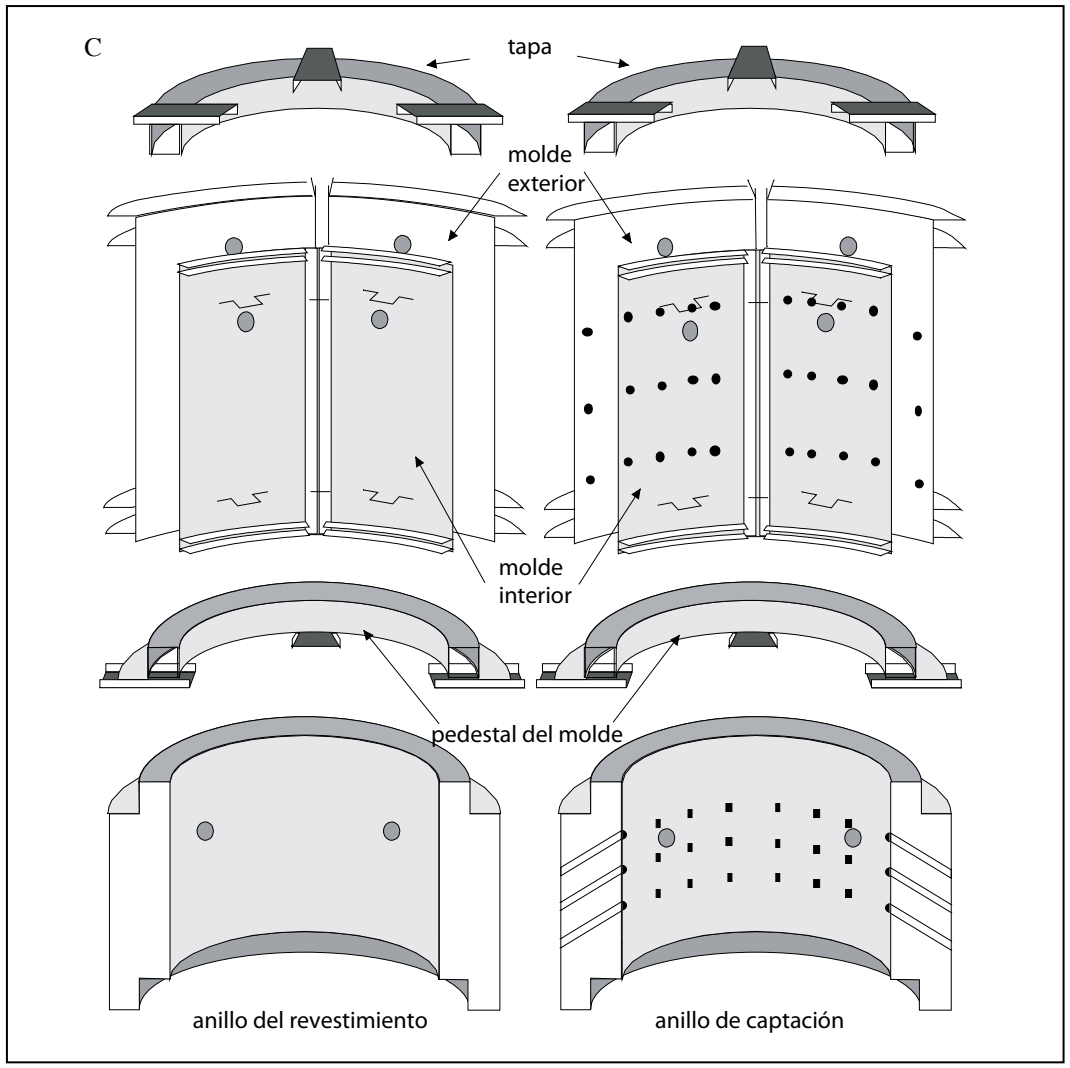


Figura 45: Molde metálico para forjar anillos de cemento. C: partes varias del molde.

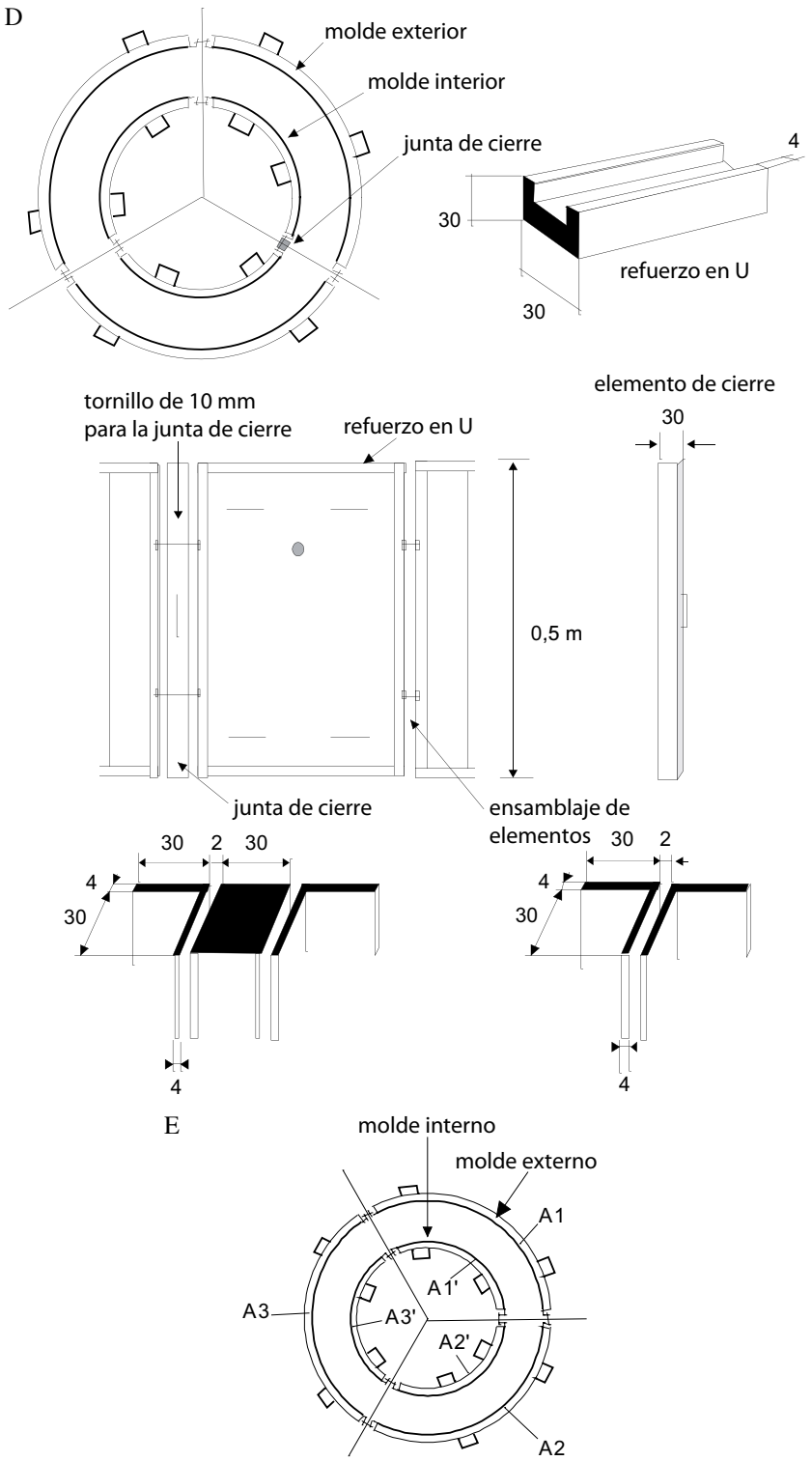


Figura 45: Moldes metálicos para forjar anillos de cemento.
D: detalles constructivos. E: numeración de las partes del molde.

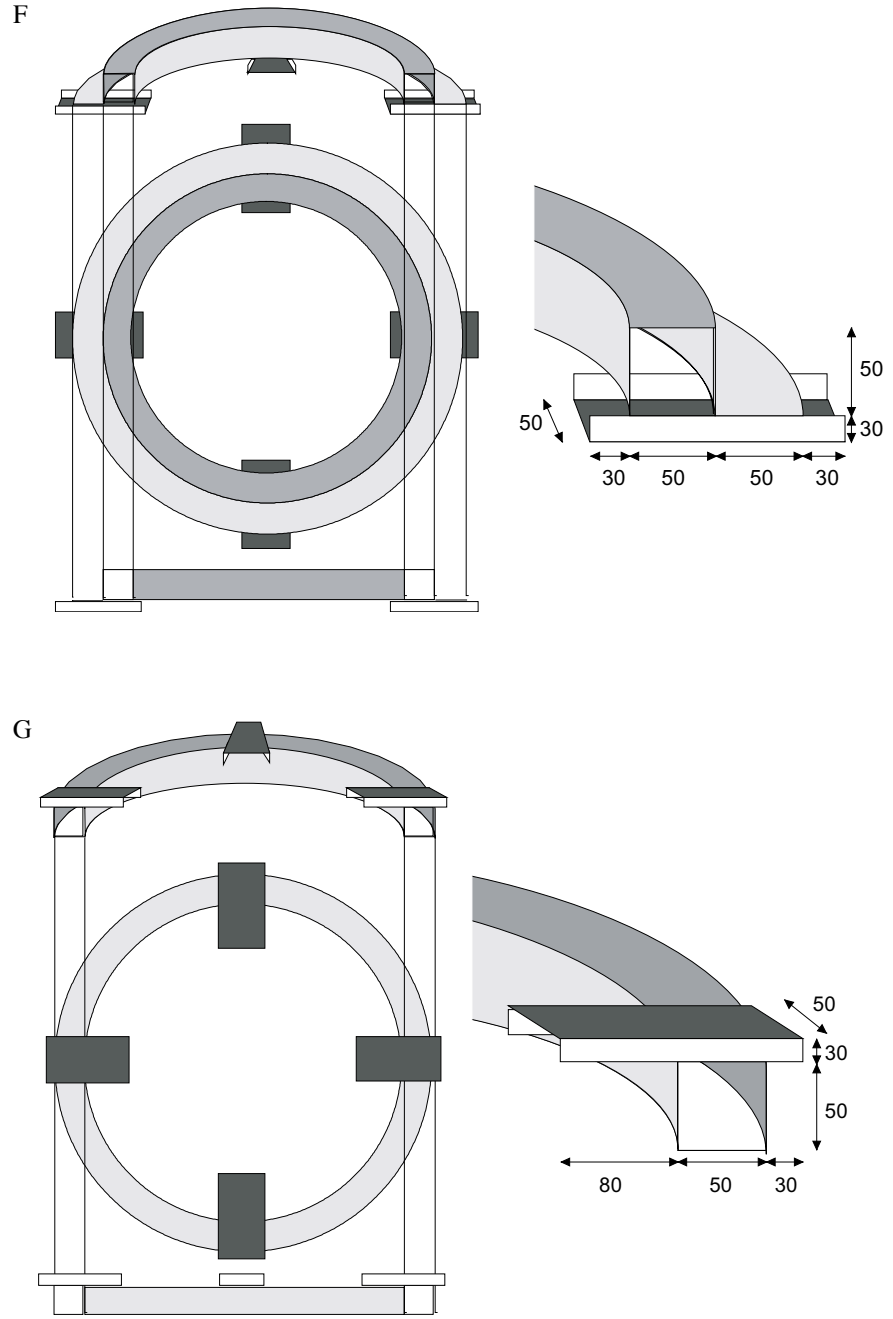


Figura 45: Molde metálico para forjar anillos de hormigón. F: apoyo del fondo. G: cubierta, tapa.

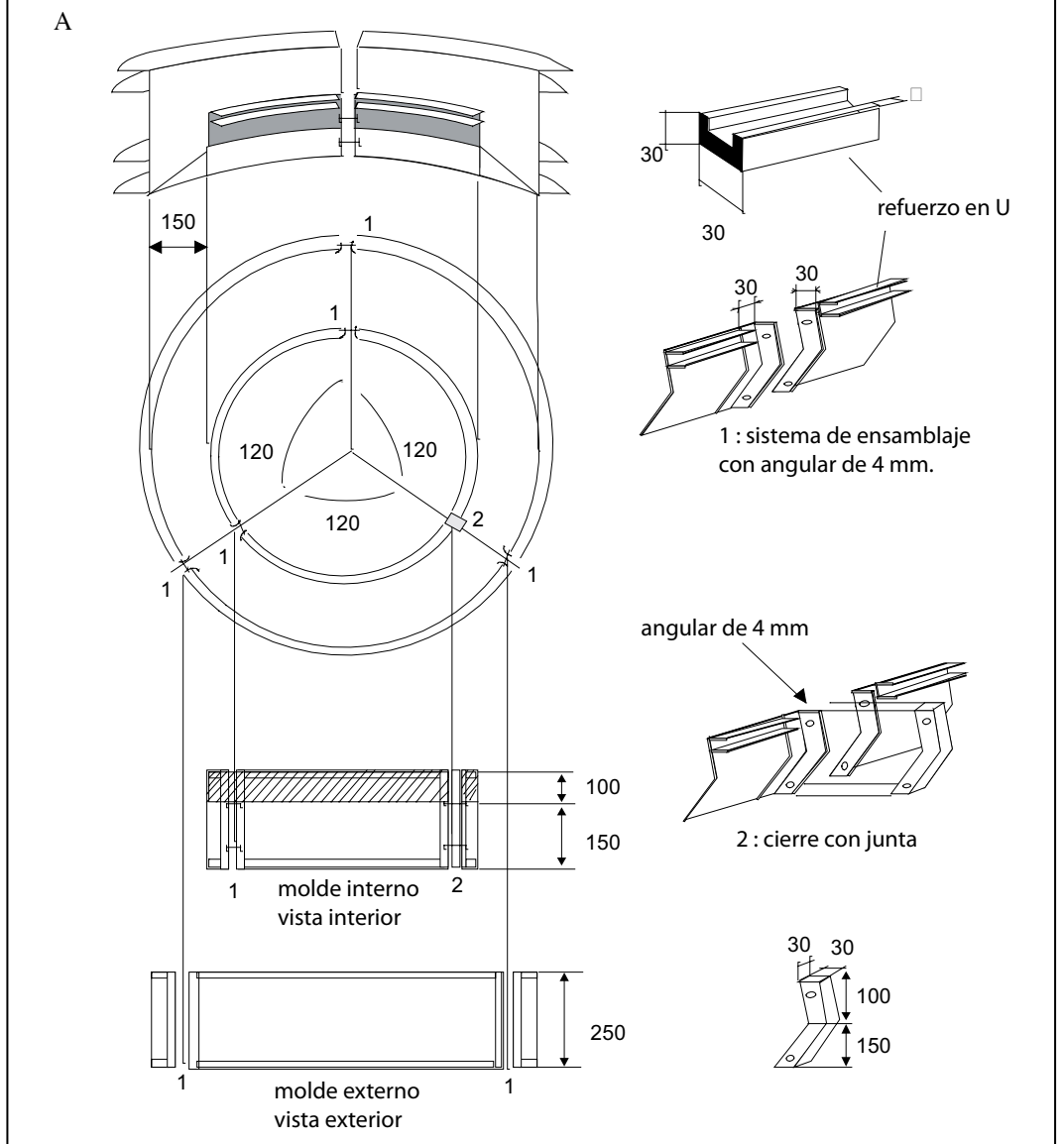


Figura 46: Encofrado de un anillo de avance. A: molde metálico. B: molde realizado directamente sobre el suelo.

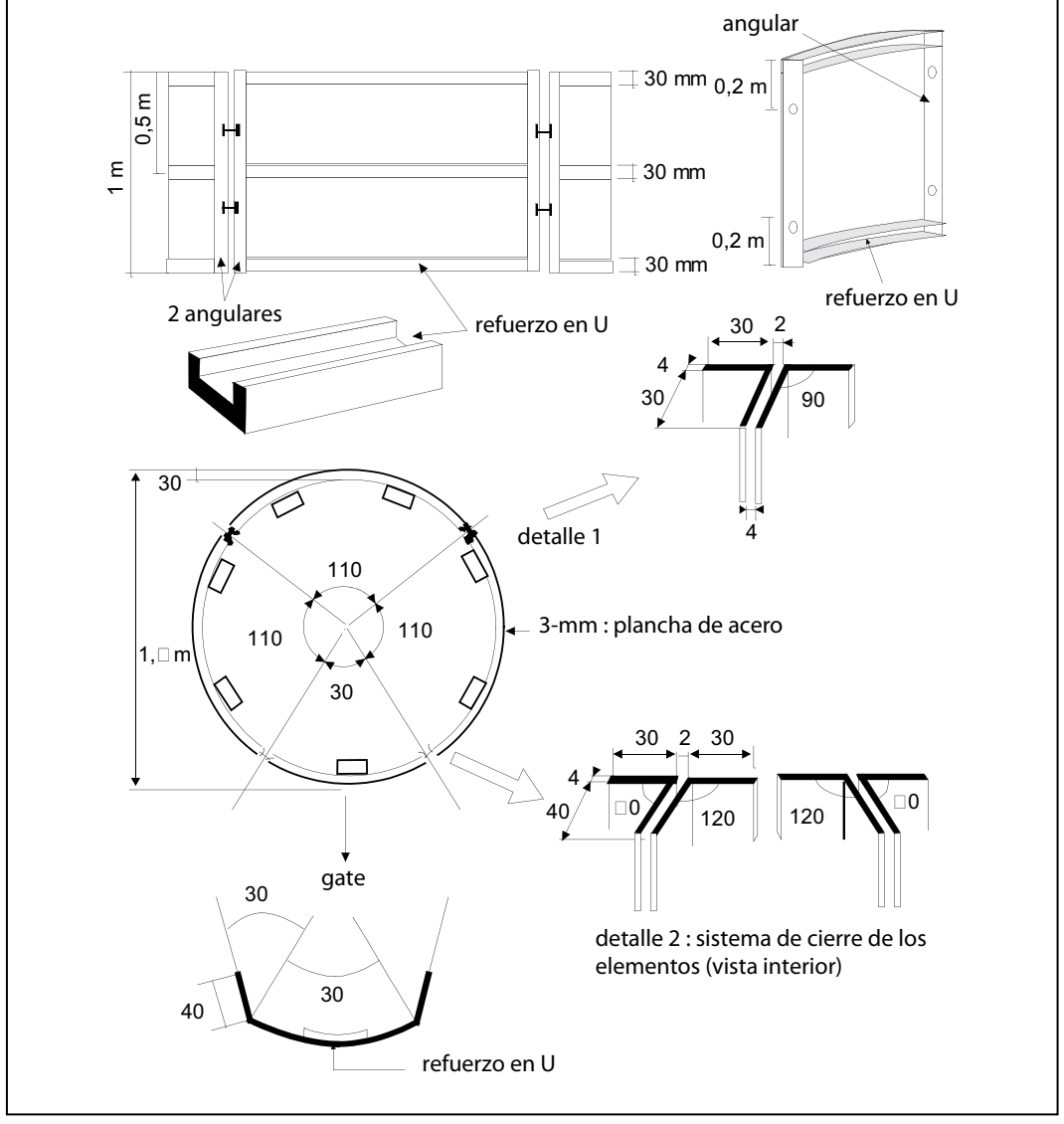


Figura 47: Encofrado deslizante para un pozo de 1,8 m de diámetro.

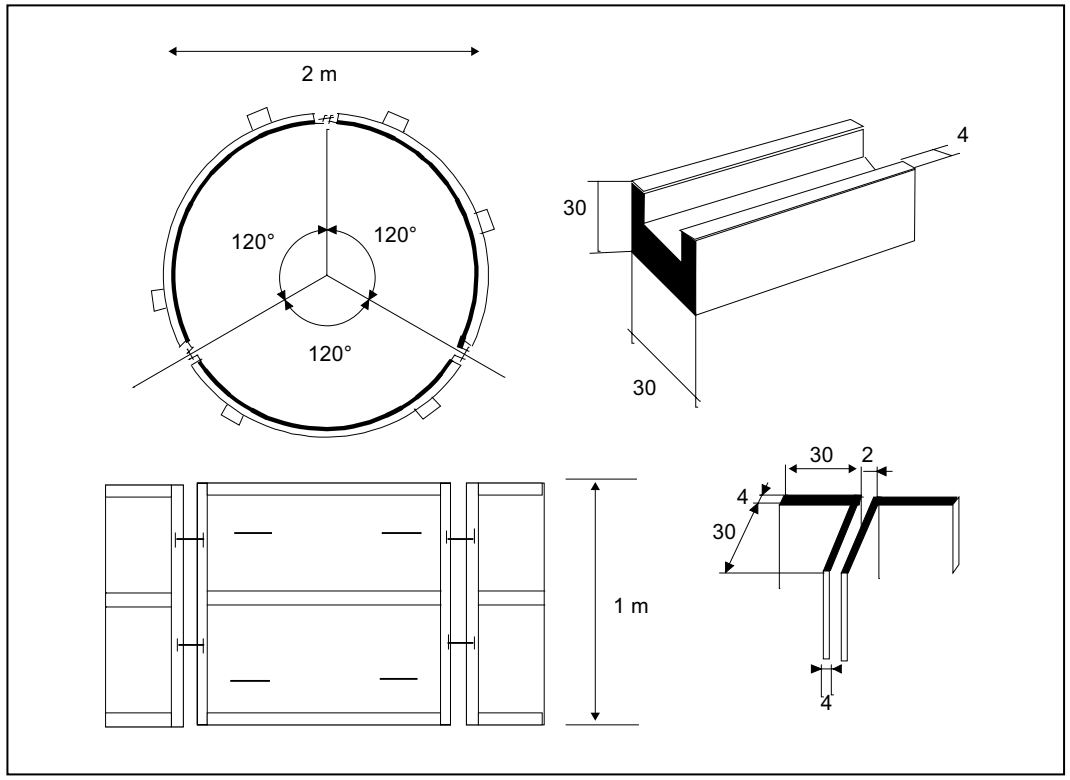


Figura 48: Encofrado para un cabezal de pozo (diámetro exterior de 2 m).

5 ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE TRABAJO

En la Tabla XXXIX se indican distintas duraciones del trabajo para diferentes tipos de obras.

Tabla XXXIX: Duración de los trabajos para varios tipos de obras comunes.

Excavación	
Suelo llano	1,8 m^3/persona/día
Suelo arenoso	1,3 m^3/persona/día
Roca blanda	0,6 m^3/persona/día
Roca dura	0,4 m^3/persona/día
Trituración de roca (producción de grava)	14 personas/m^3/día
Mezcla y manejo de hormigón	1 albañil y 4 peones/m^3/día
Mampostería con bloques	1,4 albañiles y 3,2 peones/m^3/día

El derecho humano al agua

1	**Reconocimiento internacional de que el agua es un derecho universal del hombre**	805
2	**Posicion de ACF en relacion al derecho al agua, un derecho humano**	806
3	**Recomendaciones**	811

El Derecho al Agua se considera de ahora en adelante uno de los derechos fundamentales del hombre, como consecuencia del documento publicado por las Naciones Unidas en noviembre de 2002 titulado Comentario General Nº 15 (GC N°15). Este documento es al presente el único documento oficial de referencia publicado al respecto. Se inspira en el Acuerdo Internacional sobre los Derechos Económicos, Sociales y Culturales[1] que ha sido ratificado por 151 países hasta el momento.

ACF, como ONG que trabaja en el sector de Agua, Saneamiento e Higiene (WASH), siente que este asunto le concierne directamente y quiere reafirmar oficialmente su postura al respecto.

Este documento de principios presenta una visión de conjunto común en el seno de la red en lo referente a la forma de abordar las expectativas y las recomendaciones emanadas del Comentario General GC N°15.

Recomendaciones principales de ACF sobre el Derecho al Agua, un Derecho Universal del Hombre

– A nivel internacional: la elaboración y puesta en vigor de un reglamento internacional sobre el Derecho al Agua, un Derecho Humano.

– A nivel nacional: la adopción por parte de los Estados de un plan de acción nacional y de una legislación nacional que ponga en práctica el Derecho al Agua y que garantice a todos el acceso al agua potable, especialmente a las poblaciones más vulnerables.

– A nivel de las organizaciones humanitarias: el desarrollo de campañas de concienciación y cabildeo para la promoción del reconocimiento del Derecho al Agua y denuncia de las situaciones de violación de este derecho fundamental, al tiempo que se desarrolla en el seno de las sociedades civiles la sensibilización al Derecho al Agua donde se vea necesario.

1 RECONOCIMIENTO INTERNACIONAL DE QUE EL AGUA ES UN DERECHO UNIVERSAL DEL HOMBRE

El Derecho al Agua ya se ha reconocido en un cierto número de convenciones internacionales, compromisos internacionales y declaraciones internacionales de forma explícita o implícita.

El Derecho al Agua se reconoce implícitamente en los textos siguientes:

– La **Declaración Universal de los Derechos del Hombre (1948)** especialmente en el **artículo 25** que establece: «Toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado para asegurar su salud, su bienestar y el de su familia, comprendiendo la alimentación, vestido, vivienda, asistencia sanitaria y los servicios sociales necesarios […]» El Derecho al Agua se halla implícito en este enunciado. Aunque no se mencione el agua, está claro que es un elemento vital de la nutrición y que no tiene sustituto para tener un nivel de vida adecuado.

– Acuerdo internacional sobre los derechos económicos, sociales y culturales (1966) en el que el **artículo 11** reconoce el derecho de las personas a tener un nivel de vida suficiente para ellas mismas y su familia, mientras que el **artículo 12** reconoce el derecho de toda persona a gozar de buena salud.

El Derecho al Agua se halla reconocido explícitamente en tres convenios internacionales:

– La Convención de Ginebra (1949) junto con sus dos protocolos adicionales (1977)[1]**.** Estos textos muestran explícitamente el Derecho al Agua, haciendo énfasis en un agua potable[2].

– La Convención sobre la eliminación de todo tipo de discriminación contra las mujeres (1979) y muy concretamente en el artículo 14[3].

– La Convención sobre los derechos de la infancia (1989) en el artículo 24[4].

2 POSICION DE ACF EN RELACION AL DERECHO AL AGUA, UN DERECHO HUMANO

El contenido normativo del Derecho al Agua

"El Derecho al Agua garantiza a cada ser humano la disponibilidad de un agua para uso personal y doméstico en condiciones asequibles, que sea potable, en cantidad suficiente, en calidad aceptable y fácilmente accesible. Una cantidad suficiente de agua pura es indispensable para evitar muertes por deshidratación, para reducir los riesgos de contraer enfermedades de origen hídrico y para el consumo, cocinar y la higiene personal y doméstica." GC N°15.

ACF defiende el Derecho al Agua tal y como se indica en el GC N°15 y considera que las cinco cualidades indicadas en el documento (la cantidad, la calidad, la aceptabilidad, la accesibilidad y el carácter asequible del agua) son fundamentales.

Los beneficiarios del Derecho al Agua

"El agua, las instalaciones sanitarias y los servicios deben ser accesibles a todos y particularmente a las capas de población más desfavorecidas o marginadas, sin discriminación alguna entre hombres y mujeres y con especial atención a las mujeres, niños, grupos minoritarios, poblaciones indígenas, refugiados, etc." GC N°15.

ACF, cuyo mandato implica la asistencia prioritaria a las poblaciones más vulnerables, está totalmente conforme con el GC N°15 que enfatiza el carácter no discriminatorio del acceso al agua potable.

Enriquecida con una vasta experiencia humanitaria con poblaciones vulnerables, ACF entiende que el acceso al agua potable debe empezar garantizando el acceso a este recurso vital a las poblaciones más vulnerables a quienes la carestía de agua potable es antes que nada una cuestión de supervivencia. Por esta razón, cualquier tipo de discriminación, ya sea de tipo político, económico, étnico o de género no debe pasarse por alto. La implementación del Derecho al Agua, como derecho básico, forma parte integral de la implementación y del respeto a cualquier otro derecho humano fundamental.

1. El protocolo adicional I se refiere a los conflictos internacionales, y el protocolo adicional II a los conflictos locales.
2. Cf. Artículos: Ginebra III: Artículos 20, 26, 29 y 46/ Ginebra IV: Artículos 85, 89 y 127/ protocolo adicional I : Artículos 54 y 55/ protocolo adicional II: Artículos 5 y 14
3. El artículo 14 de la Convención sobre la eliminación de toda forma de discriminación contra las mujeres establece que "Los Estados adoptarán toda clase de medidas necesarias para eliminar la discriminación contra las mujeres en las zonas rurales de modo que aseguren, de forma igualitaria respecto a los hombres, la participación en el desarrollo rural y sus beneficios especialmente el derecho a beneficiarse de condiciones de vida decorosas, especialmente en lo referente a vivienda, saneamiento, suministro eléctrico, agua, transportes y comunicaciones".
4. El artículo 24 de la Convención Internacional sobre los Derechos de la Infancia establece que "Los Estados reconocen el derecho del niño a disfrutar del mejor estado de salud posible y beneficiarse de los servicios médicos y de la recuperación. Harán los esfuerzos necesarios para que ningún niño sea privado del acceso a estos servicios. 2. Los Estados, al tiempo que harán los esfuerzos necesarios para asegurar la realización de los beneficios indicados, tomarán las medidas necesarias para: (c) Luchar contra las enfermedades y la desnutrición, incluidos en el marco de la sanidad primaria mediante el uso de técnicas ampliamente disponibles así como al suministro de alimentos nutritivos y de agua potable, teniendo en cuenta los riesgos y peligros de contaminación del medio ambiente [...].

Es crucial que se preste atención especial a los temas de reparto equitativo entre los dos sexos[1], es decir igualdad total entre hombres y mujeres, niños y niñas, participación activa de las mujeres en los procesos decisorios y en la gestión del agua y de las instalaciones sanitarias. ACF debe insistir en este momento en el hecho de que las mujeres y las niñas son demasiadas veces las que soportan el suministro de agua. Por ello, las mujeres gastan demasiado tiempo buscando agua para la casa y no pueden dedicar tiempo suficiente a la educación de los niños ni a atenderlos debidamente ni ocuparse suficientemente del hogar. Además la promoción de la participación activa de las mujeres en todos los procesos de gestión del agua debería ser un medio de promover el desarrollo y reducir la pobreza.

El Derecho al Agua es un derecho fundamental en igualdad de condiciones que cualquier otro derecho político o civil (al igual que los derechos de la mujer y los de las minorías étnicas). Es indispensable promocionar todos estos derechos, así como reconocerlos y respetarlos al tiempo que se implementa el Derecho al Agua[2].

Zonas especialmente vulnerables

"Las zonas rurales y las zonas urbanas marginales deben disponer prioritariamente de un sistema de suministro de agua y de instalaciones sanitarias debidamente mantenidas». GC N°15

En relación con su mandato, ACF estima que el factor determinante para asistir una población es básicamente el grado de vulnerabilidad de las poblaciones y no una situación geográfica concreta (rural, urbana, peri-urbana).

Por esta razón ACF estima que la vulnerabilidad es la base de sus intervenciones, enfatizando así que la esencia de las intervenciones consiste en atender las necesidades de las poblaciones vulnerables donde quiera que se encuentren (zonas rurales, urbanas o peri-urbanas).

El precio del agua y la accesibilidad económica al agua

"El agua, las instalaciones sanitarias y los servicios deben tener un coste asequible a todos". "El agua debería considerarse ante todo como un bien social y un bien cultural y no como un bien económico en primer lugar" GC N°15.

ACF está de acuerdo con el GC N°15 que insiste en la necesidad de que cualquier población tenga un acceso al agua potable a un coste razonable y que el Derecho al Agua no sea necesariamente gratuito. La gratuidad del agua (considerada como mercancía y/o el mantenimiento de las infraestructuras relacionadas con el agua) no se concibe más que en situaciones de emergencia en las que se juega la supervivencia de las poblaciones.

ACF estima que el agua es un bien social y cultural; y, por tanto, no debería tratarse como un bien económico. El agua es un bien colectivo que no puede tener un precio asociado ni puede considerarse una mercancía sometida a las leyes del mercado y por tanto sujeta a la ley de la oferta y la demanda. Por descontado que las instalaciones sanitarias, los servicios y las infraestructuras (construcción, gestión y mantenimiento) tienen un coste que debe ser accesible a todo el mundo. Mientras que el agua no tiene precio, los servicios relacionados tienen un coste. Es importante por ello diferenciar entre el agua, como recurso natural colectivo y los servicios que permiten acceder a ella.

Por otro lado, el precio a pagar por la población debería tener en cuenta la capacidad social y económica para que las capas más vulnerables puedan acceder a una cantidad mínima suficiente de agua potable[3]. El carácter «abordable» de los servicios de conexión del suministro es uno de los

1. Un documento titulado "Política de igualdad entre sexos» se está elaborando por parte de ACF para referencia general. Se establece una atención específica a la cuestión de la igualdad entre los sexos en todas las intervenciones de ACF. Por otra parte todas las políticas de ayuda de ACF se llevan a cabo con una óptica de coherencia y complementariedad a este respecto
2. Los 151 países signatarios del CESCR deben prestar atención especial a la promoción, la protección y la implementación de los derechos económicos, sociales y culturales tal y como se definen en este pacto..
3. El Comentario General GC 15 aboga por la norma de 20 l/p/d de la OMS. De todos modos la propuesta de 15 l/p/d (ESFERA) representa la norma mínima en casos de emergencia. Se recomienda siempre mostrar flexibilidad en la aplicación de las normas ESFERA o de la OMS y no seguir estrictamente las normas según la situación encontrada.

aspectos esenciales a tener en cuenta al tratarse de mejorar el acceso al agua potable y a las instalaciones sanitarias de los más desfavorecidos. Es, por tanto, en este marco donde se debe tener la flexibilidad de adaptar las soluciones adecuadas e instituir las políticas sobre los precios de antemano cuando se trata de mejorar el acceso al agua potable y al saneamiento para todo el mundo.

Responsabilidad de los Estados

"Los Estados tienen obligaciones inmediatas en relación con el Derecho al Agua" GC N°15.

"… exige que los Estados adopten las medidas necesarias para implementar plenamente el Derecho al Agua. Esta obligación implica la inserción adecuada de este derecho en el sistema jurídico y político a nivel nacional, y preferentemente la adopción de medidas legislativas que permitan tener una estrategia y un plan de acción sobre el agua a nivel nacional" GC N°15.

"Los Estados deben asegurar una buena coordinación entre los ministerios a nivel nacional con las autoridades locales y regionales. Donde se haya descentralizado la implementación del Derecho al Agua, el Estado debe asegurarse que las autoridades locales y regionales disponen de los recursos necesarios para mantener y mejorar los servicios de agua y las instalaciones sanitarias" GC N°15.

La responsabilidad primaria en lo tocante al agua potable y a los servicios de saneamiento incumbe, como todo servicio público, al Estado. Es deber del Estado garantizar el acceso del agua a todos por medio de controles y reglamentaciones eficaces.

El Derecho al Agua debería implementarse ante todo por los Estados de acuerdo con la gestión de las políticas nacionales, en las que se incluyen la política del agua, del medio ambiente, de la economía, del desarrollo sostenido y de los acuerdos internacionales.

Es probable que la inclusión del Derecho al Agua en las constituciones y /o las legislaciones nacionales no tenga efectos positivos inmediatos pero se debe considerar esta estrategia como un gran paso adelante en la mejora del acceso al agua potable y al saneamiento para todo el mundo, al tiempo que una herramienta útil para la mentalización en acciones futuras. Por otra parte, la inclusión en su totalidad del Derecho al Agua en la Constitución o en la legislación nacional, así como la posibilidad de defender este derecho en los tribunales ordinarios (es decir que la población pueda recurrir legalmente ante los tribunales) debe estudiarse caso a caso según la población y las prácticas del Estado, su capacidad y su voluntad.

La institución de un plan de acción o de una estrategia a nivel nacional en los países más vulnerables no tendría resultados positivos a menos que se adopte un plan de financiación duradero. La integración del Derecho al Agua en la Constitución o en la legislación nacional podría ser un medio razonable de mejorar el acceso al agua potable para todos.

En los casos concretos de los países en los que los estamentos dirigentes son débiles o no existen, las instituciones de rango menor deben responsabilizarse de la aplicación de los principios y estrategias tendentes al suministro equitativo de agua (por ejemplo a nivel regional). De hecho, se debe llevar a cabo un análisis en profundidad de estas situaciones particulares para ver como se pueden alcanzar estos objetivos. Se debería considerar un compromiso internacional, así como acciones de mentalización/cabildeo (por ejemplo con la interpretación adecuada de una Convención Internacional o reconociendo el Derecho al Agua como un derecho humano universal).

Formas de suministro de agua

"El precio del servicio de suministro de agua debe establecerse en base al principio de equidad, de modo que quien quiera que suministre estos servicios (entidad pública o privada) ponga unos precios asequibles a todo el mundo" GC N°15.

ACF está totalmente conforme con el Comentario General N°15 que considera que ninguna de las entidades gestoras de estos servicios de agua potable es mejor que otra. El objetivo básico estriba en responder de la manera más rápida y eficaz posible para cubrir esta necesidad vital, según la prioridad que se acuerde con las poblaciones más vulnerables. Dado el mandato humanitario y la naturaleza apolítica de las intervenciones, ACF no tiene preferencia por ningún modo de gestión (público o privado) y rehúsa discutir los posibles méritos del sector público sobre el privado o viceversa*. Solo un enfoque positivo y bien coordinado, cimentado con el diálogo y buena gestión de mentalización permitirá garantizar la protección de los derechos individuales.

El suministro de agua potable es básicamente una responsabilidad del sector público que debería gestionarse idealmente por autoridades del sector público dentro de un marco legislativo transparente y eficaz, especialmente cuando los actores privados tienen un papel en el proceso de suministro de agua potable. Del mismo modo, podría hacer mejoras en la implementación y aplicación del Derecho al Agua:

- Enfoque integral tanto de las capacidades como de las necesidades de las poblaciones más vulnerables.
- Armonización de las legislaciones y políticas nacionales con interpretaciones de implicación internacional y de textos legales relativos al Derecho al Agua (como el GC N°15).
- Mejorando la cooperación (y la colaboración si fuera necesario) entre las estrategias de los sectores privados y públicos y entre los actores implicados (incluyendo ONGs, agencias de la ONU, etc.).
- El reforzamiento de las capacidades de las autoridades públicas locales con el fin de garantizar la regulación y control de los servicios relacionados con el agua.
- Mejora y eficacia del marco jurídico y de la promoción de un buen gobierno local.

Responsabilidades de la comunidad internacional

"Los Estados deberían preocuparse de que este Derecho al Agua tenga un reconocimiento específico en los acuerdos internacionales y, a este respecto, deberían concebir la elaboración de instrumentos jurídicos nuevos" GC N°15.

"La Comunidad Internacional debería reconocer el Derecho al Agua como un Derecho Humano y como requisito previo a los demás derechos humanos" GC N°15.

ACF está totalmente de acuerdo con el GC N°15 que antepone las responsabilidades y los deberes que pertenecen a la comunidad internacional y la necesidad de adoptar cuanto antes un reglamento internacional relativo al Derecho del Agua. El Derecho al Agua debería ser objeto de una decisión internacional[1] del tipo Convención de Naciones-Unidas o debería tener el estatuto de "Derecho Humano".

La adopción de una Convención de Naciones Unidas podría ser el mejor medio de hacer respetar el Derecho al Agua. Una convención así no resolvería los problemas relacionados con el acceso al agua y al saneamiento, pero el simple hecho de su existencia permitiría disponer de un marco jurídico internacional con el que se podría proceder a una distribución equitativa del agua potable, lo que permitiría disponer a las poblaciones necesitadas de un texto formal del que podrían valerse para tener un acceso al agua potable. ACF es consciente que la implementación de una herramienta así tardará varios años en ver la luz y mientras tanto se dedica a la promoción de la implementación del Derecho al Agua a nivel local.

Cualquier Convención nueva de las Naciones Unidas elaborada con el fin de aprobarse por los Estados Miembros sobre el tema del agua potable debería incluir cláusulas condicionales relacionadas con la protección de los recursos, una clasificación de los usos del agua (en la que los usos domésticos serán prioritarios sobre los demás usos), la protección del acceso al agua en caso de conflictos, el mantenimiento del Derecho al Agua en caso de conflicto nacional o internacional, etc. Esta Convención Internacional debería estipular que el agua no debería ser utilizada jamás como medio de presión

1. El GC N°15 no es un documento ejecutivo, sino que recomienda simplemente a los Estados la aplicación del Derecho al Agua. Además, aboga por la instauración de un acuerdo internacional para la promoción del Derecho al Agua (GC N°15 – artículo 35). Este acuerdo internacional debería aplicarse específicamente en los países con poder central débil o inexistente.

o no debería ser un objetivo en caso de conflictos armados o guerras civiles. El objeto de esta Convención consistiría en definir las responsabilidades de los Estados (o de los Gobiernos) sobre la cuestión de la gestión del agua y del saneamiento y reafirmar su papel de coordinación y supervisión de todas las prestaciones relativas al agua.

Este tipo de herramienta de ámbito internacional, aunque fuera jurídico y restrictivo, debería permitir definir el contenido normativo del Derecho al Agua. Debería ser capaz de adaptarse fácilmente a los diferentes contextos y necesidades y los gobiernos deberían ser capaces de ejercer su soberanía[1] y definir las normativas nacionales.

ACF apoya la iniciativa colectiva internacional y gubernamental de noviembre 2006 que propugna el Derecho al Agua y Saneamiento como un Derecho Universal del Hombre. Por esto ACF invita los 23 Estados signatarios a garantizar que la iniciativa llegue a buen fin. ACF mantiene la postura que hay que formalizar todas las cuestiones relacionadas con la problemática del agua y se han de incluir en el Orden del Día de la Comisión sobre los Derechos Humanos[2]. Este podría ser el punto de partida de un proceso cuyo fin consistiría el reconocimiento del Derecho al Agua como un Derecho Humano y a su aprobación por la Convención de las Naciones Unidas.

Por resta razón, ACF, en apoyo de esta iniciativa, se compromete activamente en una campaña de mentalización para la defensa de las poblaciones más vulnerables, especialmente en las regiones donde se ignora abiertamente el Derecho al Agua.

Gestión integrada del recurso

"Los Estados deberían adoptar estrategias y programas completos e integrados con el fin de asegurar a las generaciones presentes y futuras suficientes recursos de agua potable". GC N°15

ACF piensa que la gestión integrada del recurso no se puede contravenir (como tal recurso físico y junto con los aspectos sociales y ambientales relacionados) y que se debe tener en cuenta en todos los aspectos y todos los proyectos relativos al agua, el saneamiento y la higiene.

ACF está totalmente de acuerdo con el GC N°15 que propicia la necesidad de gestionar el agua y la protección de los recursos hídricos. ACF estima que la implementación del concepto de desarrollo duradero[3] es de los más importantes en la problemática de la gestión del conjunto del agua.

Agua para uso personal solamente

"El Derecho al Agua consiste en un suministro suficiente, accesible físicamente y a un coste asequible, de un agua potable y de calidad aceptable para uso personal y doméstico de cada persona" GC N°15.

En la forma presente, el GC N°15 no considera más que el consumo personal y doméstico del agua. Como en muchas regiones el agua para uso agrícola y ganadero (especialmente en zonas agropecuarias) es tan esencial como el uso personal, ACF, a causa de su enfoque global[4] en el marco de su lucha contra la desnutrición, estima que el concepto de Derecho al Agua tal y como está expresado es demasiado restringido. A pesar de ello, ACF promociona el Derecho al Agua tal y como se describe en el Comentario General, pero recomienda vivamente un enfoque más general y universal que contemple el hecho de que el agua es también un factor de desarrollo (económico). El agua usada para fines agrícolas permite garantizar una seguridad alimentaria a las poblaciones. La solución global que defiende ACF forma parte integrante de los esfuerzos realizados para implementar estructuras de gestión integrada que garantizan un acceso duradero al agua potable y su conservación (teniendo en cuenta siempre los factores sociales y ambientales).

Se debe hacer una clasificación de los usos del agua en función de las prioridades: (1) para uso personal y doméstico, (2) para los hospitales, dispensarios, escuelas, etc. y (3) para garantizar la seguridad alimentaria al tiempo que el desarrollo socioeconómico.

Es indispensable y urgente reconocer el Derecho al Agua como Derecho Humano Universal, sin ignorar el hecho de que el agua es un recurso colectivo de usos múltiples y complementarios. El Derecho al Agua no debería limitarse al suministro para usos domésticos y personales.

Responsabilidad de las ONGs

"El papel de la Federación Internacional de sociedades de la Cruz Roja y del Creciente Rojo, del Comité Internacional de la Cruz Roja, del Alto Comisariado de las Naciones Unidas para los refugiados (ACNUR), de la OMS y de UNICEF, así como de las ONG y otras asociaciones tiene una importancia especial cuando se trata de prestar socorro en caso de catástrofes humanitarias y situaciones de emergencia. En cuestiones de ayuda, distribución y gestión de agua y sus instalaciones relacionadas, conviene conceder la prioridad a los grupos más vulnerables o marginados de la población" GC N°15.

ACF está totalmente de acuerdo con el GC N°15 y estima que las responsabilidades de las ONGs no se limitan a situaciones de emergencia, si no que pueden extenderse hasta que se retome la autosuficiencia económica temprana o el desarrollo económico y para las que es indispensable:

- Procurar el buen desarrollo de los servicios de agua potable y la gestión del recurso,
- Aumentar el potencial local y suministrar asistencia técnica y formación,
- Desarrollar las actividades de mentalización,
- Garantizar el acceso a todos de una cantidad de agua suficiente, duradera y a precio asequible.

3 RECOMENDACIONES

A nivel internacional

- Elaborar e implementar un reglamento internacional sobe el Derecho al Agua en forma de una Convención de Naciones Unidas,
- Procurar que el Consejo de los Derechos Humanos de las Naciones Unidas reconozca el acceso al agua potable como un Derecho Humano universal e inalienable,
- Reconocer y respetar el Derecho al Agua como derecho inalienable del hombre con todo lo que ello implica en el plano de las negociaciones internacionales,
- Elaborar indicadores que garanticen y aseguren el seguimiento de la implementación del Derecho al Agua junto con los OMD (Objetivos de Desarrollo el Milenio), especialmente en los países en vías de desarrollo,
- Trabajar en la implementación del Derecho al Agua en las acciones y la gestión técnica de esta implementación desarrollando la investigación sobre el terreno y los estudios de los casos, identificando riesgos potenciales o dificultades y definiendo las prácticas más adecuadas para su promoción,
- Asegurarse de que el saneamiento forma parte sistemática del enfoque del Derecho al Agua y de los proyectos relacionados al agua (el saneamiento incluye la recogida, transporte, tratamiento y evacuación de excrementos humanos y aguas domésticas de desecho).

A nivel nacional

- Los Estados deberían adoptar un plan nacional de acción, estrategias nacionales y una legislación nacional que asuma las responsabilidades en todo lo que se refiere a los servicios de agua potable y saneamiento,

1. En aplicación de la reglamentación internacional, en particular la Declaración de Derechos Humanos (1948).
2. La cuestión del agua se indica en un informe sobre el derecho a alimentarse correctamente sometido a la Comisión de Derechos Humanos por J.Ziegler, especialista designado sobre el derecho a la alimentación. En otro informe sobre el mismo asunto, ha hecho referencia en 2003 a la cuestión del agua como Derecho Humano. Esta iniciativa es más que nada una demanda de que se trate integralmente el asunto del agua por ser un Derecho Humano.
3. Hay que entender la expresión « desarrollo duradero » como el proceso que permite « mejorar la vida humana desde un punto de vista cualitativo, al tiempo que se vive dentro del respeto a los ecosistemas» (Caring for the Earth, IUCN/WWF/UNEP, 1991)
4. Una gestión integrada conlleva los aspectos sociales y ambientales inseparables del recurso en si mismo.

• Los Estados deberían adoptar indicadores nacionales para optimizar el seguimiento y el reglamento al tiempo que garantizan el acceso al agua potable a todos.
• En el caso particular de Estados con un gobierno evidentemente débil y de países en vías de desarrollo es imprescindible desarrollar la cooperación con todos los actores que intervienen.

A los organismos humanitarios (incluyendo ACF)

• Promover y defender el desarrollo de normas internacionales, puntos de referencia e indicadores para el Derecho al Agua. Por ejemplo, ACF trabaja actualmente en la elaboración de normas ESFERA y mantiene el desarrollo de normas nacionales.
• Desarrollar el potencial de los integrantes de la sociedad civil local en la reafirmación de su Derecho al Agua al mismo tiempo que se sensibiliza a las autoridades locales, en la medida de lo posible, sobre este derecho fundamental. Por ejemplo, ACF debería procurar que el Derecho al Agua se integre en las actividades locales de concienciación y en la sensibilización del personal y de la población beneficiaria. ACF ha dado por descontado que las herramientas del enfoque[1] fundado en los derechos ya se han desarrollado por otros organismos humanitarios (como el HCR). Estas herramientas novedosas pueden utilizarse localmente para sensibilizar la sociedad civil local al Derecho al Agua.
• Promover y facilitar la responsabilidad de los gobiernos que son socios locales en relación con el Derecho al Agua desarrollando el reforzamiento de sus capacidades. ACF debería cooperar con las autoridades locales desde el momento que respeten los principios y el mandato de las ONG. De cualquier manera, hay que decir que el fin de toda cooperación con las autoridades locales consiste en garantizar a todos un acceso duradero al agua potable. Objetivos más específicos deberían poder acrecentar la presión para conseguir una responsabilización mayor, desarrollar una competencia, vigilar el refuerzo de las capacidades, contribuir a la realización de planes de acción regionales y locales.
• Entender mejor el plan de acción nacional, las estrategias y las políticas nacionales en cuestiones de acceso al agua potable para mejorar la coordinación y complementariedad entre las ONGs y las autoridades nacionales. En el caso particular de Estados con un poder central débil y que se están constituyendo es indispensable sostener el desarrollo de este marco nacional, especialmente si no existe todavía.
• Procurar que los proyectos no interfieran por descuido con los medios tradicionales o habituales de acceso al agua potable.
• Desarrollar, documentar y denunciar las violaciones del Derecho al Agua por medio de campañas activas de mentalización, especialmente participando activamente en foros internacionales y regionales. ACF se compromete públicamente con este tema particular desde el AMECE que tuvo lugar en el Parlamento Europeo de Bruselas del 18 al 20 marzo, 2007.

1. Un enfoque basado en los derechos al desarrollo es un marco teórico para la implementación del desarrollo del ser humano que se apoya en las normas internacionales en materia de Derechos Humanos desde el punto de vista normativo y que se orienta desde el punto de vista operativo hacia la promoción y la defensa de los derechos del hombre. Consultar la dirección siguiente de internet para mayor información sobre el valor añadido suministrando por este enfoque : http://www.unhchr.ch/development/approaches-07.html

Vocabulario

A

Ábaco en geofísica 372
Abastecimiento de agua potable 116, 405
Abono 526, 539, 541, 674
Aceleración de la gravedad 190, 199
Aceptabilidad, aceptación 806, 66, 115, 117, 123, 512, 517, 538, 567, 596, 650, 674
Acceso a puntos de agua (indicadores específicos) 673
Acceso mínimo al agua 9
Acero galvanizado 401, 452, 458, 745, 748, 749
Acero para hormigón armado 767
Acidez 103, 131, 143, 621
Acido hipocloroso 145, 757
Acido sulfhídrico 117, 128
Acciones sanitarias 619, 626
Acondicionamiento
- (plan de) en emergencias 603
- de la superficie 296, 357
- instalación sanitaria 104, 570
- rehabilitación 401
Acuicludo 204
Acuífero 100, 165, 195, 284
- cautivo 204
- de base 421
- de base cristalina 284
- cárstico (kárstico) 289
- libre 205
- no confinados 210
- multicapa 210
- (recarga de) 212
- freático (de valle) 208
- semi-cautivo 369
Adecuación 19, 66, 273, 401, 512
Agua
- análisis y calidad 104-136, 583, 709-717
- recogida 176, 177, 183
- consumo 673
- supervisión, mejora de la calidad 648
Aguas
- capilar 198
- de lluvia 100, 175-185
- de lluvia (análisis recomendados) 109
- de lluvia (factores de contaminación) 109
- de escorrentías 101
Aguas superficiales 101, 135, 177, 187
- protección 729-731
- estancadas 110
- estancadas (análisis recomendados) 111
- tratamiento 604
- curso de agua 101, 187
- curso de agua (análisis recomendados) 110
- curso de agua (factores de contaminación) 109
- residuales 72, 511, 528, 632
Aguas subterráneas 111
- análisis recomendados 112
- factores de contaminación 111
- protección 729
- calidad 111
Ahondamiento 311
Aireación de las letrinas 518
Aireación para tratamiento de agua 149
Alcalinidad 103, 123, 143
Algas 110, 112, 129, 621
Alimentación eléctrica (de bombas) 423
Alineación, lineamiento 220, 223
Almacenamiento (productos químicos, material, muestras) 88, 428, 553, 758, 760
Almacenamiento de agua 38, 100, 108, 141, 152, 183, 218, 457, 464, 489, 636, 731
Aluvial (zona) 102, 209, 210, 223, 249, 269, 275, 318
Alteración físico-química 205
Alterita 284, 285
Altímetro 32, 449
Altura
- de aspiración 414, 441
- de descarga 415
- manométrica total (HMT) 415
Aluminio 117,144, 481, 498, 714, 716, 758
Amibiasis 813
Amoníaco 110, 117, 119, 133
Análisis 109, 129
- bacteriológico 122, 131
- bacteriológico (métodos de) 103
- biológico 120, 625
- químico 103, 124, 131, 132, 133, 215
- químico (métodos de) 132
- del agua 129
- de riesgos (encuesta sanitaria) 120
- microbiológico 134
- físico-químico 122, 359, 674
- rápidos del agua 140

Analizador “Pool tester” 148
Anclaje
- de tuberías 476
- del entibamiento 224
Anhídrido carbónico disuelto 130
Anillo 141
- con orificios 298
- filtrante 303
- prefabricado 304
- de avance 301, 802
Animadores (facilitadores) comunitarios 593
Anión 125
Anisotropía 196, 210, 370
Aprovisionamiento de agua 91, 677
Aqua-Privy (sistema)531
AR (Attack Rate) Ritmo de aparición de casos 626
Árbol de problemas 42, 51
Archie (fórmula de) 199
Arcilla 166, 178, 197, 198, 206, 247
Arena 148, 161, 195, 197, 201, 206, 210, 245, 303
Arsénico 104, 113, 128, 133, 214
Artesiano 165, 204
ASAL (siglas inglesas para regiones áridas y semiáridas) 11
Ascariasis 121, 687, 691
Aseos (cf. Letrinas) 566, 656
Atrazina 112
Auto-purificación, auto-desinfección 110, 649
Azufre 123, 128

B

Bacteria 29, 30, 105, 110, 121, 130, 396, 621, 692
Balance
- de un acuífero 263
- hidrológico 212
- hidrológico simplificado 699
Barrera de protección 178
Base fracturada 240, 284
Basuras domésticas 112, 510, 656
Bazin (fórmula de) 190
BEL (borehole electrical logging) 244
Bicarbonato 126, 143
Bicromato (dicromato) potásico 123
Birkad 77, 101, 182, 612
Bisel (interfase) salino 15. 211
Bladder depósito flexible 609
Bloques de retención 476
Bocio 29
Bomba motorizada 334, 362, 426, 494, 656, 709
- centrífuga de superficie 412, 420, 494
- hidráulica 328, 338, 438
- mecate 439, 440
- de ariete 441-444
- de energías renovables 427
- de turbina 413
- manual 432
- de acción humana 432
- a pedales 440
- rotativas 438
- aspirante 437
- centrífuga (estanqueidad) 413
- para vaciado de lodos 527, 532
- de achique 426
- eléctricas 422
- sumergida 433
Bombeo
- dispositivo 141
- alterno 356
- solar 428
- adicional (sobre-bombe) 354
Brocal 296, 309, 312, 358, 406, 798
Bromo 129

C

Cadmio 116, 129
Cake (torta) 320
Calcio 117, 119, 123, 125, 126, 133, 709
Calendario estacional 36, 320, 582
Calidad del agua 29, 103, 709, 729
- bacteriológica 39, 118
- biológica 120, 140
- química 107, 116, 215
- indicadores específicos 49, 103, 119, 669, 674
- de los recursos de agua 37, 263
- microbiológica 107, 648, 664
Cámara
- de captación 165, 167, 169
- de válvulas 465
Cambios en las muestras 130
Campamento 16, 21, 631, 700
Campo
- de defecación 543, 544
- de excitación (inducción) 246, 755
- eléctrico 246, 248
- electromagnético 246, 247
- geomagnético terrestre 254, 262, 281
- magnético estático 254
- magnético 246
Canal a nivel constante y de desagüe 505
Canalización
- accesorios para tubos a presión 473
- accesorios para reparación de tubos 472
- con válvulas de estrangulamiento 418
Cáncer 104, 106, 116, 128
Cantidades mínimas de agua (planificación, Esfera 2003) 27, 83, 665, 677
Capa (freática) 33, 56, 195, 203
- aluvial 209
- cautiva 205
- libre 205
- colgada 208, 209
- freática 208
Capacidad de infiltración (de un suelo) 534, 553
Capacidades (fortalecimiento de) 8, 11, 19, 23, 26, 51, 58, 62, 84, 809, 812
Captación autónoma 298, 299
Características del caudal 218, 223
Características hidrodinámicas del acuífero 368, 369
Carbonato 119, 123, 126, 211, 290, 396, 400
Carga
- hidráulica 201, 204
- estática 415, 698, 787
Carta 5, 27
Carst saturado 211, 289, 291
Cartografía 137, 219, 227, 249 , 274, 292
- mapas de comunidad 581
- mapa de riesgos 9
- mapa de isorresistividades 249
- mapa piezométrico 202, 203, 213, 263, 701
- mapa topográfico 102, 219, 704
- mapa del karst 292
Cash for work (dinero por trabajo) 181
Catión 119, 125
Caudal 297, 348, 697
- fórmula 201, 368, 699
- (medida de) 165, 187, 348, 392
- crítico 367, 379, 383
- de bombeo 279, 353, 356, 372
- de explotación 276, 318, 333, 344, 367
- gravitatorio 459
- instantáneo 207, 356, 429
- específico 207
- unitario 201, 448
Centro de salud 448, 497, 509, 646
Chadouf 298
Charca 99, 108, 182
- impluvium 177,178
- estanque 81, 100, 110, 175, 178, 181, 184, 275, 612, 616, 729
Check list (lista de verificación) 41
CHF (facilitadores comunitarios de higiene) 42, 593
Cholera Task Force check referencia 625
Chott 208
CIC (centro de aislamiento del cólera) CTC 627
- refugio 639
- abastecimiento de agua 635
- plan de acondicionamiento 632
- barreras sanitarias 639
- elección del sitio 631
- salida, cierre 652
- distribución de agua 636
- desagüe 638
- equipamientos sanitarios 636
- gestión 640
- información 645
- recorrido del paciente 632
- personal 640, 641
- plano tipo de distribución 632
- centros de salud 641
- reclutamiento y formación 644
- almacenamiento de agua 636
Ciclo
- del nitrógeno 126
- del agua 99
- del proyecto 16, 20, 24
Cimentación 406, 500, 773
Cimiento (de pedestal de fuente) 478, 491, 769
Cinc 133
Cisterna a vacío 532
Clinómetro 450
Cloración
- operación (principio de la) 144, 155, 493, 495, 497, 611
- periódica 146
Cloramina 145, 148
Cloro
- combinado 144, 145, 146
- libre residual 144, 145, 146
- libre residual (medida) 147
Cloruro de polivinilo (PVC) 130, 452
Cluster 41
CNS (centros de nutrición suplementaria) 655
CNT (centro de nutrición terapéutica) 655
- análisis del agua 657
- suministro de agua 657
- saneamiento 657
- cloración 657
- concepción 658
- directivas para agua y saneamiento 656
- promoción de la higiene 658
Coagulante 142, 648
Cobre 133
Coeficiente
- de anisotropía 240
- de compresibilidad 199
- de contracción 459
- de permeabilidad 218
. de almacenamiento (storage coefficient or storability) 199
- de uniformidad 148, 159, 197
- geométrico K 230, 245
Cólera 621
- contagio 621
- datos epidemiológicos 653
- epidemia 623
- evaluación de necesidades 625

- factores epidemiológicos 624
- inmunización natural 623
- kit 629
- prevenir el contagio 622
- riesgos para el personal 623
- síntomas 621
- estrategia de intervención 626
- tratamiento 622
- vacunación 622
Coliformes fecales 105, 108, 115, 118, 122, 674, 716
- termotolerantes 116, 122, 132
- totales 122
Colmatación 148, 396
- biológica 397
- química 397
- mecánica 396
Coloides 141, 142
Color 117, 134, 160, 397, 519, 674, 714, 758
Coloración 127, 129
Colorimetría 133, 134
Columna de captación 299, 304, 305
Comité de agua 85, 91, 108
Compactación, compactador 178, 181, 198, 350, 530
Compactador manual 178
Comparador colorimétrico de disco 133
Compost, compostaje (proceso de) 536
Compresor 308, 316, 324, 329, 338, 426, 734
Comunicación V, 32, 37, 40, 59, 561, 589
Comunicadores 561, 592
Concept paper (nota conceptual) 40
Condiciones sanitarias 3, 11, 71, 113, 117, 510, 539, 556, 584, 624, 649, 693
Conductímetro 124, 191, 192
Conductividad electrolítica 227
Conexión pozo-sondeo 408,409
Conexión rápida 471
Configuración cuadrada de un sondeo 229, 238, 239
Conflicto declarado 4, 8, 11, 14, 16, 19, 25, 36, 51, 59, 75, 82, 92, 585, 657, 615, 810
Conservación de las muestras 130
Conservante 131
Consumo humano 37, 81, 99, 103, 106, 111, 124, 210, 214, 264, 612, 664
Contaminación 112, 515
- (riesgo de) 432, 435, 520, 527, 532, 712
- bacteriana (bacteriológica) 122, 515, 712
- bacteriana (migración) 515, 516, 729
- biológica 115, 140, 195, 515
- química 104, 515, 664, 674, 677
- fecal 11, 16, 114, 495, 533, 543, 569, 625
- microbiológica 104, 109, 118, 677
- post-distribución 104, 108, 118, 144, 152, 154
- radiológica 118, 664, 677
- viral 515
- concepto 112
- agrícola 108, 113, 117
- superficial 30
- domésticas 30, 112, 127
- por hongos 109, 129
- geológica 110
- industrial 108, 113, 116
- natural 106, 113
- orgánica 110
- por el ganado 101, 109, 113
- física 113
- tóxica 106, 114, 129
Contexto (análisis del) 4, 13, 17, 25, 27, 76, 165
Contrato 55, 58, 62, 88, 608, 641
Control
- de la calidad (en el punto de agua) 52, 83, 105, 108
- de la calidad (del agua suministrada) 51, 82, 104, 108
- de los excrementos 51, 510, 543, 556, 567
Coordinación 20, 57, 59, 67, 82, 556, 620, 626, 640, 653, 682, 808, 812
Cordón litoral 210
Corriente continua 223, 227, 246, 331, 418, 424, 428, 717, 719
Corrosión 116, 149, 334, 396
- bacteriana 397
- electroquímica 396
Corrosivo 128, 145, 757
Cortes (de terreno) cuttings 323
- análisis de 344, 348
- evacuación 320, 323, 337, 341
Coutagne (fórmula de) 180, 703, 704
Creencias 15, 18, 38, 427, 512, 563, 677
Crisis humanitaria XXI, 4, 7, 9, 326
Cuarcitas 112, 205
Cuenca
- de recepción 102, 177, 180, 701, 704
- endorreica 102
- exorreica 102
- hidrográfica 102
- sedimentaria 210
Cultivo de colonias (incubación) 132
Curado 639
Curva
- característica de una bomba 415, 673
- de descenso (del nivel) 382
- de recuperación 374, 381
- de sondeo (de prospección) 258
- granulométrica 197
Curvas auxiliares (método de las) 234

D

Daños 7, 71, 79, 80
Darcy (experimento de, fórmula de) 201
- ley de 200, 353, 698, 703
Datos meteorológicos mundiales 706
DBO 123, 130
DC (corriente continua) 223, 227, 246, 254, 331, 418, 424, 717, 719
Decantación 182, 495
Defecación al aire libre 44, 517, 543, 678
Deltametrina 551, 639
Dengue 109, 552, 686, 689, 695
Depósito, yacimiento, reserva, almacenamiento
- de una red gravitatoria 609
- geometría 449
- tipología 206-209
- hasta el grifo 460
- de recogida de aguas pluviales 81, 176
- de recogida de escorrentías 81, 177, 183
- para una red gravitatoria 170, 631
- de almacenamiento 109, 457
- para la captación de manantiales 170, 459
- para una red de bombeo 172
- de agua en la Tierra 195
Derecho 74, 805 - 812
Desarrollo neumático (puesta a punto) 228, 352
Desastres naturales VI, 4, 6, 8, 11, 36, 52, 78, 607
Descenso del nivel de agua 223, 367
- corregido 380
- máximo 383
Desestructuración XXI, 4, 6, 8
Desinfectante (distribución domiciliar de productos) 649
Desinfección 139, 144, 312, 653
- de un pozo 136, 649
- del agua 79, 118, 128, 152, 675, 757
Desnivel 211, 442, 496
Desnutrición aguda 655, 671, 672
Desobstrucción400
Detergente 110, 112, 127, 530, 709
DfID 55
DG 55
Diaclasa 211
Diagnóstico 23, 40, 124, 368, 393, 397, 400, 565, 672, 682
Diagrafía eléctrica de sondeos 223, 398, 399
Diámetro
- de las tuberías 459, 466, 504, 528, 608
- del pozo 298, 400, 533
Diario de la perforación 741, 743
Diarrea 5, 44, 104, 121, 510, 543, 567, 587, 593, 603, 621, 664, 685
Diferencia de potencial (ddp) 224, 228, 230
Dipolo-dipolo (configuración) 226, 241, 293
Diques 212
Directiva, normas OMS de calidad microbiológica 104, 116, 118, 137, 667
Discriminación XXII, 4, 6, 8, 75, 806
Disentería 29, 121, 685, 688, 693
Distancia de seguridad 436, 515
Distribución de agua 38, 77, 82, 91, 445, 479, 493, 510, 546, 576, 584, 609, 652
Distribución de agua (puntos de) 105
Distribución por gravedad 86, 170, 445, 460
Dolomites 125
Donantes 7, 23, 37, 53, 63, 74
Dosificación 145, 154
- de reactivos 144, 151, 495
- de producto (test de jarras) 142, 146, 498
Dosis máxima diaria tolerable 114
DQO 123
Dracunculosis 694
Dragado 308
Drenaje 13, 40, 79, 603, 610, 638
- del agua de lluvia 101, 177, 185, 511
- de las aguas de superficie 120, 550
- por gravedad 150, 167, 199, 203, 462, 476
- específico 169, 178, 547
Ducha 13, 38, 51, 149, 548, 553, 569, 605, 638, 646, 675
Durabilidad, sostenibilidad de un proyecto 8, 25, 39, 56, 62, 65, 75, 106, 222, 432
Dureza carbonatada 124, 308, 709

E

Ebullición, hervido 140, 144, 152, 157, 162
ECHO 53, 58, 599
Ecuación
- de continuidad (de flujo) 699
- en régimen transitorio (o de Theis) 285, 371, 374, 381, 391
- de descenso de nivel de Jacob 275, 285, 371 – 380, 385
Efecto de capacidad 370, 372, 812
Eficacia XXII, 27, 64, 1106, 152, 322, 378, 415, 535, 675, 809
Eficiencia 35, 54, 65, 74, 119, 151, 328, 398, 424, 530, 609, 653
Electrodo 133, 226, 229 – 234, 238 – 244, 293
Electrolito 227
Electromagnético (método) 223, 246, 274
Electromagnético en dominio temporal (método) 223
Elemento 130
- esencial 110, 114, 129, 133, 214
- mayor 112, 125, 135, 215
- tóxico 29, 109, 114, 128, 214, 709
- trazas 119, 128

Elementos principales 133, 215, 674
Elipse de polarización 247
EM (método electromagnético) 223 - 227, 246
Embolada (pistonaje) 356
- con marmita 307
Embrague 322, 326
Empoderamiento V, VI
Empuje, peso sobre la herramienta 322, 326, 330
Encamisado 336, 469
Encofrado (obra civil) 302, 316, 795, 802
Endorreico (zona, cuenca) 102, 126, 208
Encuesta 565, 578
- CAP 13, 36, 570, 576, 583
- de campo, de terreno 32, 568
- sanitaria 16, 120, 664, 674, 712
Enfermedad 4, 10, 28, 36, 43, 58
- crónica 105, 215
- diarreica 122, 510, 562, 587, 592, 620
- del sueño 686, 690
- hídrica 104, 569, 681, 712, 806
- relativa a insectos vectores 518, 550, 551
- oral-fecal 113, 511, 546, 566
- transmitida por vectores 109, 511, 518, 551, 554, 678
- relativas al agua, saneamiento, excrementos 87, 91, 104, 512
Enfoque del marco lógico 23, 47
Ensayo, prueba 263, 368
- a caudal constante 367
- aquifer test (prueba de aforo) 263, 285, 367 - 368
- de permeabilidad adicional 178
- de bombeo (ensayo hidráulico) 273
- de bombeo (realización) 370
- de bombeo por escalones (par palier de debit) 276, 279, 367, 375
- de bombeo por escalones consec (par palier de debit consecutif) 384
- de bombeo por escalones no consec (par palier de debit non consecutif) 375
- de las jarras 146
- de pozos (well test) 286, 367, 375
- Lefranc 200
- de larga duración 367
- RMP (resonancia magnética protónica) 254
Entibado 295, 310, 406, 743, 798
Entradas/salidas (estimación) 699, 703, 705
Eólico aerogeneradores 13, 80
Epicarst 211
Equipo
- coordinación 59, 683
- creación 56
Equipamiento de los sondeos 218
ERI (electrical resistivity imagery) 223, 241
Erosión 40, 79, 101, 182, 220, 323, 347, 397, 478, 550, 730
Escorrentía (estimación) 187
Escherichia coli 116, 122, 511
Esfera 5, 11, 27, 41, 117, 125, 245, 677, 807, 812
Espesor
- de la alteración 206
- de la capa 198
Esquisto 201, 205-208
Esquistosoma 691, 704
Esquistosomiasis 30, 104, 510, 686, 695
Estado nutricional (cf. Indicadores generales) 37, 50, 671, 712
Estación de bombeo 382, 496
- funcionamiento 495
- gestión 498
Estación depuradora 532
Estándares 11, 15, 26, 27, 103, 112, 115, 117, 125, 465, 628, 638
Estanque 177, 275
Estopa 414
Estrategia (análisis de la) 5, 45-48, 62, 555, 562, 589, 594, 607, 626
Eutrofización 109, 110
Evaluación 64, 446
- (criterios de) 47, 65, 564, 625, 677
- del recurso 218, 263, 285
- del personal 59, 581, 585
- de la higiene 564, 569
- (indicadores) 64, 599, 650, 653, 677
Evaporación 82, 99, 122, 126, 140, 180, 414, 702, 763
Evaporímetro 79
Evapotranspiración 100, 179, 187, 700 - 703
- potencial ETP 702
- real ETR 702
Excavación, desmonte 90, 178, 299 – 318, 406
Excrementos 510
- control 510, 543, 566
- almacenamiento 120, 518
- eliminación 517, 518
- gestión 16, 72, 511, 554
Explotación del recurso 111, 607
Explosivo 300, 307
Extracción de agua de pozos, transporte y almacenamiento (protección) 13, 177, 199, 296, 309, 405, 426
Extracción manual 296

F

Factores socioculturales 19
Falla, fractura 165, 195, 205, 212, 240
Fasciolopsis 110
Ferralla 54, 312, 481
Fertilizante 108, 123, 215, 709
Fiebre
- enterítica 121, 685, 687
- amarilla 552, 689, 696
Filariosis 30
Filón (veta) 212
Filtración 496, 516, 698, 703
- (sistemas de) 140, 142, 148, 158
- lenta sobre arena 149
- rápida sobre arena 148, 160
- cerámicos 158
- con cartuchos cerámicos 148, 159
Filtro 148,149, 158, 279, 303, 334, 348, 354, 380, 396, 417, 494, 595
- domiciliar 158
- de grava 169, 352, 396
Filtración útil 534
Flóculo 156, 496
Floculación 141, 155, 658
- (productos para) 758
- química 142
- sobre filtros 149, 496
Flotador 188, 494
Fluidos de perforación 323, 339
Flujo 697
- (velocidad de) 455
- divergente/convergente/rectilíneo 202
- en los bordes 195
- gravitatorio 459
- total (cálculo) 699, 704
- uniforme 202, 697
- (energía de) 454, 698
- de lava 212
Flúor 29, 106, 114, 128, 214, 714
Fluoroapatito 113, 128
Fluorosis 104, 114, 116, 129
Fluoruro 105, 112-119, 128, 214
Fontanería 499, 503
Food for work (alimentos por trabajo) 58, 90
Formación 20, 26, 55-60, 76-80, 88, 514, 523, 585-587, 592, 628, 645, 682, 811
Formulario, cuestionario 120, 710
Fosfato 125, 127, 400, 709
Foso, fosa
- dimensionamiento 519
- vaciado 520, 526, 657
- de lodos 339, 340
- de excrementos 518, 637
- de basuras 554, 556
- de decantación 339
- de bombeo 339
- séptico 528
Fotómetro 133, 134
Fractura 165, 195, 200, 205 – 7, 219 – 21, 348, 369, 381, 515, 534
Fracturación hidráulica 355
Franja capilar 198
Frecuencia de Larmor 255
Fuente 90, 446, 477, 491
- de hormigón 477
- mampostería 477, 478
Fuerza
- de capilaridad 198
- de extracción (elevación) 322, 335
Función
- de almacenamiento 205
- de conducción, transporte 205

G

Galena 116, 128, 129
Galería de infiltración 141, 166, 168, 172
Ganado 18, 77, 181, 408, 439, 572, 612, 614
Garman (bomba) 430
Gas disuelto 131
Género (papel de) 583
Geometría del yacimiento 273, 285
Geofísica 273, 717
- equipos 272, 274, 283, 717
- procedimientos 235, 244, 271
- eléctrica 228, 230, 717, 720
Gestión 23, 71
- a distancia o remota 17
- comunitaria del agua 5, 18, 75, 83, 89, 614, 807
- del agua 38, 581, 641, 675
- del agua (objetivos) 72, 682
Ghyben-Herzberg (relación) 210
GI (hierro galvanizado) 455-8, 465-7, 475, 493, 499, 503, 540, 749, 751
Gneiss 201, 205-7, 215, 234
Gobernanza VI
Gradiente 125
- hidráulico 198, 200-202
- límite 201, 204, 698
Gráficos de diagnóstico 368 - 372
Granito 128, 195, 205-207, 228, 251, 257, 288, 307, 704
Granulometría (clasificación de los granos) 197, 198
Gres de cuarcitas 205, 206
Grifo 38, 79, 81, 131, 447, 460, 466, 477, 491
Grupos de discusión (grupo focal) 32, 580
Guías 26, 27, 37, 55, 655-667
Gusto (sabor) 33, 105, 117, 118, 126-129, 139, 145, 152, 397, 650, 674, 709, 712

H

H (desnivel) 442, 459, 496

Hand-over, traspaso 19
Hazen Williams (fórmula de) 454
HD dipolo horizontal 251
Helminto 30, 31, 105, 121, 511, 516, 667, 685-692
Hepatitis 632
- A 121, 685, 689, 693
- infecciosa 104
Hidráulica
- del bombeo 328, 368, 414
- del bombeo (altura de aspiración) 414
- del bombeo (potencia) 338, 414
Hidrogeofísica métodos 223
Hierro 117, 125, 126, 133, 149, 214, 397, 611
Hierro (tratamiento) 126, 140, 143
Higiene
- principios, prácticas 10, 561, 570, 675
- promoción 36, 87, 561, 563, 658
- alimentaria 13, 562, 567
- personal 27, 546-551, 562
Hincado 303, 305, 315
Hormigón 101, 161, 303, 306, 408, 500, 764, 782, 795
HSP (pico horario de sol) 428, 429
HTH 145, 146, 311, 401, 494, 629, 638, 654
Hummel (método) 234

I

Identidad, firma química 215
Imagen satélite 221
Imagen eléctrica bidimensional 223, 229, 244
Impacto 19, 36, 273, 282, 289, 510 – 515, 567, 570, 583, 590, 650, 712
Implicación de las comunidades 18, 19
Impluvium 1, 177, 178, 185
In situ, en el mismo sitio 123 – 133, 199, 245, 265, 299, 301, 308
Incidencia “Advocacy” XXI, 9, 11, 12, 76, 811
Incinerador 555, 556, 638
- de ladrillos 555
- simple 555
Indicadores 49, 66
- cálculo 40, 576, 669
- biológicos 109, 111, 129
- de contaminación fecal 116
- de contaminación 123, 127
- de calidad 115, 119
- de referencia 583, 663, 674
- generales 613, 669
- no indicados por la OMS (calidad del agua y análisis) 115, 674, 709
- específicos para el agua y la higiene (cálculo) 103, 119, 669
- claves 27, 66, 118, 520, 571
- guías (agua y saneamiento) 115
Inducción 246, 254, 754
Informadores clave 33, 60, 570
Industria 103
- química 116, 128, 709
- fungicidas 119
- relacionadas con el agua (clasificación ambiental) 685
- relacionadas con los excrementos (id.) 687
Información 219, 780
- análisis 20, 28, 33
- recogida, capitalización 9, 12, 20, 33
- gestión 20, 62
- utilización 20, 55
- específica (agua y saneamiento) 37, 38, 120, 129
Infraestructuras sanitarias 4, 148, 511, 604, 625
Ingeniería civil 463, 479, 759
Ingestión (consumo) diaria tolerable (TDI) 114
Inmersión de tabletas de cloro 649
Insecto 30, 109, 121, 158, 512, 550 - 554
Insecticida 13, 128, 536, 551 - 553, 639, 656
Inspección sanitaria 41, 120, 137
- puntos de agua 108, 120, 710, 712
Instalación, acondicionamiento infraestructuras de saneamiento 515, 571
Intensidad 113, 163, 187, 230, 256, 261, 395, 423, 550
Interpretación fotográfica 220
Intervención XXI, 8, 400
- (principio de) 16, 24
- (propuesta de) 17, 26
- curativa 18, 626
- preventiva 8, 18
Inventario (nociones) 196
Inyección de agua a presión 354
Ion
- hipocloroso 145
- principal 125
Isotropía 113, 196, 229
Isovalores (método de) 701
IV (via intravenosa) 622

J

Jacob (método de) 276, 371-374, 377-379, 385
Jefe de proyecto descripción de puesto 681
Jerrycans perforados 648
Junta (sello) hidráulica 527

K

Kit (conjunto)
- DelAgua 132, 134
- de higiene 137, 595
Kwashiorkor 671-2
Kyoto 5

L

Lactato de Ringer 622, 629, 638
Lago 13, 21, 99111, 141, 195, 203, 205, 494
Lámina de agua 180, 190, 191
Lastrabarrenas ¿?????????????
Lavaderos 13, 38, 51, 131, 549, 568, 604, 638, 769
Lavado 127, 352, 379, 478, 496, 502, 530, 547, 657
Lavado de manos 29, 515, 546, 562, 564, 577, 583, 636-642
Lechada de cemento 350, 402
Leptospirosis 121, 511, 552, 685, 688
Letrinas 5, 603, 638, 666, 687
- construcción 514, 519
- materiales 519
- de bodega 539
- de compostaje 535, 542
- de fosa (vida útil) 520
- de sello hidráulico 527
- de sifón 527
- mejoradas de fosa ventilada (VIP) 518
- LASF (letrinas aboneras secas familiares) 536
- secas 518
- (foso) simple 518, 546
- de fosa doble 541
- de fosa elevado 535, 542
- de fosa ventilada (VIP) 514, 525
- de barril o cubo 538
- de barril para compostaje 538
- semipermanentes o permanentes 546
- elevadas 541
LFA(enfoque de marco lógico) 24, 42, 46, 48
LFM (matriz de marco lógico) 47-9, 53
Línea
- de corriente 228
- histórica 35, 581
- de igual piezometría 202
Límites (condiciones, efectos) 162, 205, 367-370
LOAEL (nivel mínimo observado de efectos adversos) 114
Lluvia
- ácida 109
- eficaz 703
Lodo
- anaeróbico 110
- de perforación 323, 337
- de fosa séptica 532
- de floculación º 21
Lógica de intervención (verificación) 51-53
Losa (letrina, pozo) 296, 309, 339, 478, 490, 500, 518, 522, 539, 638, 771

M

Magnesio 125, 709
Malaria 111, 551, 596-9, 695
Mampostería 310, 504, 761, 777
Manantial 79, 205, 443, 710
- acondicionamiento 87, 169
- captación 165-8, 172
Manganeso 116, 129, 140, 214, 397, 714
Mantenimiento 20, 38, 50, 71
Marasmo-Kwashiorkor 672
Margas 126, 290
Marmita 296, 300
Martillo (instalación) 345
Martillo del fondo para sondeo 344, 738
Masa específica 199
Masa filtrante (paquete de grava) 351
Material
- para ensayos bacteriológicos 132
- fundamental (ensayos físicos y químicos) 133
Materia orgánica 109-112, 123, 140, 149, 275, 530, 695, 758
Matriz de marco lógico (LFM) 46, 51, 52, 66
Maxwell (ecuaciones de) 246
Medidor de resistencia 230
Medio ambiente (respeto del) 20
Membrana 716
- biológica 131, 149
- porosa, filtrante 158, 163
Metano 110, 530
Metanol 61, 716
Método
- electromagnético 246
- geofísico 223, 226
MFT (rotopercusión DHT) 341
Microorganismo 112, 123-127, 140, 649
Migmatitas 205
Mineralización 110, 124, 141, 192, 210, 223, 273, 396
Minerales disueltos 110, 208, 214
Mini - laboratorio 130, 134
Misterlich (diagrama) 114
Modelización 371
Modelo
- contiguo 7
- continuo 8
Mojón (indicadores de posición) 476
Molinete hidrométrico 193
Momento 785
- cinético (spin) 224
- de impulso 279, 753
- magnético 254, 261
Moody (diagrama de) 747, 750
Morbilidad (indicadores generales) 671

Mortalidad (indicadores generales) 10, 557, 562, 652, 670
Mortero 759, 760
Mosquitero 13, 30, 167, 463, 482, 519, 526, 570, 595, 656, 687
Mosquito 31, 109, 527, 551, 567, 596, 686
MUAC (circunferencia media del brazo) 671, 672
Muestra de turbidez 134
Mujeres XXI, 5, 20, 34, 85, 513, 549, 565, 580, 593, 632, 677, 806
Muro
- acuífero 205
- represa de las escorrentías 777, 792

N

NaDCC (comprimido) 145, 757
Naciones Unidas 5, 20, 40, 671, 805, 809
Necesidades (análisis, evaluación) 18, 28, 42, 57, 89, 101, 104, 175, 177
Necesidades de agua 4, 28, 140, 267, 447, 614
Nemátodo 533, 694
Nitratación 127
Nitrato 112, 116, 125, 126, 130, 399, 656, 714
Nitrificación 127, 827
Nitrito 116, 127, 133, 656, 714
Nitrógeno (compuesto nitrogenado) 103, 126, 127
Nitrosación 127
Nivel
- dinámico 199, 204, 222
- piezométrico 165, 166, 202, 204, 205, 210
- estático 200, 202, 204, 206, 218, 258
NOAEL (nivel de efecto adverso no observado) 114
Nomograma para calcular pérdidas de carga lineales 455
Nomograma para dimensionar bombas 429
Nomograma pérdidas de carga lineales en tubos de plástico 748
Nomograma de interpretación de sondeos eléctrico 723-725
Nomograma Schlumberger 722
Nomograma para evaluar tiempos de bombeo 390
Norma 26
- de calidad 11, 118
- mínima 5, 11, 27, 807
- estándar (sondeos) 26, 84, 228, 325
Notas de orientación 27
NPSH (altura neta de aspiración) 415, 417
Nube de sal 191, 193
Número de Reynolds 454, 697, 745

O

Objetivos
- análisis 43, 49
- de la calidad del agua 119
- del milenio VI, 5, 811
Ohm (ley de) 230
Olor 141, 518, 531, 554, 674, 714,757
OMS
- directivas 27, 114, 116, 122, 152, 510, 622, 664
Organoclorados 125
ORS (suero hidratante oral) 632
Oxidabilidad 123
Oxidación 112, 125, 128, 130, 344, 674, 709
Oxígeno disuelto 109, 119, 124, 131, 709

P

Panel eléctrico (ERI) 269
Pantalán (muelle flotante) 178
Parámetro
- biológicos 103, 108, 122
- químico 106, 108, 117, 131, 399, 674, 709, 714
- de contaminación 106, 108, 113
- geofísico 220, 224, 255
- hidrológico (o hidrodinámico) 195, 200, 204, 258, 286
- micorbiológico 39, 107, 108, 116
- organoléptico 105, 117
- físico-químico 105, 122, 266, 398, 664, 674, 714
Parásito 30, 109, 162, 510, 693
Participación comunitaria 20, 54, 62, 90, 480, 514
Patógeno 11, 29, 104, 113, 121, 136, 162, 511, 686
Penetrómetro dinámico manual 178
Perennidad de los recursos (vida útil del recurso) 218
Perforación (desarrollo de, puesta a punto) 352
Perforadora ACF-PAT 201, 301, 401 PTO 326
Permanganato potásico 123
Permeabilidad intrínseca 200, 204
Permeámetro (medidor de permeabilidad) 200
Personal (gestión) 59
Pérdida de carga 200, 279, 379, 373, 414, 420, 453, 455, 636, 750, 752
- lineal 379, 420, 454
- cuadrática 279
- singular (secundarias) 456
Pérdidas de presión 453, 456
Perfil
- de carga 460
- dinámico 453
- estático 452, 458
Perforación adicional 399, 400
Peso específico 349, 414, 698
Pesticidas 109, 215, 530, 674
pH (potencial de hidrógeno) 110, 119, 122, 130, 143, 147, 716
pHímetro 123
Piezómetro, piezometría 202, 213, 318, 368, 389, 391, 703
Pileta, pedestal de fuentes 576, 636, 778, 780
Pileta para lavado de los pies (pediluvios) 636
Pirita 110, 113, 126, 128, 129
Plan
- de acción 47, 91, 318, 626, 805, 808, 812
- de distribución 446
Planificación 46, 55
- de los recursos 64
Plataforma 83, 329-332, 341, 352, 436, 550, 608, 735, 764
Plomo 104, 116, 129, 133, 714
Pluviometría (medida) 101, 175, 699
Población (estimación) 669
Población objetivo/público meta 565, 567
Polea 77, 297, 311, 431, 440, 445
Policol 320, 323, 340, 343
Polietileno (PE) - de alta densidad (HDPE) 130, 184, 353, 452, 455, 458, 468, 527
Poliomielitis 121, 685, 689
Polifosfatos 400, 401, 709
Poliovirus 145, 511, 689
Polo-dipolo (configuración) 226, 229, 234, 238, 241, 293
Polo-polo (configuración) 226, 229, 234, 238, 244, 269, 276
Porosidad 196
- estimación 199
- cinemática (efectiva) 196, 198, 204, 262
- de drenaje 199, 204, 218
- eficaz 198, 203
- secundaria 198, 290
- total 196, 197, 204, 258
- útil 704
- primaria 198, 290
Post-crisis 6, 8
Posicionadores 350, 351, 743
Potasio 112, 119, 125, 127, 709
Potencia
- del acuífero saturado 201, 263, 267
- eléctrica 232, 423-5, 754
Potencial
- en los extremos 368
- espontáneo 223, 244
Pozos
- construcción 299
- realización (excavación) 406
- rehabilitación 309
- dotado de una bomba 136
- abierto 39, 264, 275, 700
- perdido (ciego) 532, 533
- combinado 405
- combinado (medios necesarios) 405
- combinado concéntrico 405
- combinado lateral 408
- cisterna 308
PRA (evaluación rural participativa) 33, 35, 89
Precamisado 335
Precipitación 39, 99-102, 155, 175, 187, 213, 222, 275, 350, 396, 340, 616, 703, 706
Preparación al desastre 8, 11
Prensaestopa (empaquetadura) 414
Presión
- nominal 452
- residual 415, 420, 454
- estática 452
Pretratamiento 81, 141, 160
Principio
- de precaución 106, 137
- de superposición 373, 385
Prioridades 16, 31, 46, 67, 115, 564, 712, 811
Problemas (análisis de) 25, 28, 36, 42-44
Procedimientos internos 55, 59
Producto de alteración 206
Profundidad
- de uso de una bomba 415, 420, 430-446
- de investigación 234, 251-3, 290, 327
Programa de actividades (planificación) 23, 32, 55, 64, 357, 479, 586
Promoción de la higiene, evaluación de necesidades 564-80
Prospección
- protocolo, procedimiento, método 219, 224, 263
- de aguas subterráneas 218
- eléctrica 199, 229, 236
- geofísica 223, 264, 267
Protozoario 30, 105, 113, 121
Proyecto
- aprobación 55
- concepción 24, 41
- evaluación 25, 28
- financiación 25, 55
- gestión 23, 25, 41
- identificación 25, 28, 36
Puesta a punto de sondeos (desarrollo) por soplado de aire 355,400
Purgas de aire 476
Puesta en operación 25, 55
Punto de agua 34, 49, 107, 137, 296, 499-505, 546-8, 611, 673, 710

Q

Quiste 144, 693, 694

R

Radioactividad 113, 709
Rambla (oued) 209
Rampa de distribución (de grifos) 609-611
Radio del cono de depresión 391
Rastro eléctrico (registro, sondeo, …) 223, 232, 244, 254, 288, 399
Reacción química 762
Reagrupamiento de población (concentración humana) 603
Rebosadero 165, 172, 176, 463, 483
Recamisado 310
Recarga (estimación) 212, 368-371, 374, 390, 612, 628, 704-5
Reciclado de efluentes 532-3
Recipiente, depósito 38, 81, 100, 145, 170, 172, 176, 536, 542, 546, 585-7, 595, 611
Recuperación del nivel (Theis) 285, 374-376, 390
Recurso
- protección 94, 218, 729
- de agua 37, 99
- de agua (selección) 13, 62, 106, 112, 677
- de agua disponible 13, 21, 72, 207
Red de distribución 72, 86, 449
- dimensionamiento 457
- por gravedad 463
- construcción 463
- esquema 457
Red hidrográfica 220
Red
- de urgencia desde un sondeo 493, 604
- de urgencia desde un río 494
Refugios (de emergencia, provisional) 2, 603, 619
Régimen de flujo forzado 746
Rehabilitación XXI, 8, 9
- de sondeos 395
- de la entibación 310
- del punto de agua, de pozos, de redes de suministro 3, 107, 309-310
Relativo a la escasez de agua 29, 83, 614
Rellenado, enterrado de la tubería 474
Remoto, a distancia 17
Reparadores 84, 87
Replicación, reproducción 66
Representatividad 135, 176, 578, 700
Reserva fácilmente utilizable (RFU) 702, 703
Residuos 13, 21, 127
- recogida. 557, 678
- enterramiento 549
- de centros sanitarios 555, 638
- industrial 116, 128
- sólidos (eliminación) 120
- sólidos (gestión) 38, 72, 554
Resistencia 230, 254, 277, 424, 755
Resistividad
- eléctrica 199, 223, 226-255, 264-293, 717
- aparente 227 - 254
- calculada 227, 235, 241, 254, 267-270, 293
- real 228, 237, 244, 254
- verdadera 228
Resistividades eléctricas (método de las) 227
Resolución 225, 234, 246, 254, 262, 287
Resonancia magnética protónica 199, 223, 254-6, 261, 278, 292
Resultado (presentación) 47, 129, 135, 250, 264, 269, 379, 583, 588
Retenciones de agua 101
- de escorrentías (charcas, estanques) 175
- de agua 101
Retroalimentación (Feedback) 263, 594
Riesgo 299
- análisis 13, 41, 60, 120, 712
- evaluación 50, 120, 565
- factores 14, 20, 78, 120
- de desastres 8, 11
- fecal 110, 121, 525, 729
- relativo a la calidad del agua 15, 27, 106, 530, 562, 566, 583, 806
- sanitario 27, 215, 510, 542, 562
- tóxico regional 105, 106, 108, 214
Río colgado 208
Ritmo de renovación 209,354
RMP (o MRS, sondeo magnético de un recurso) 199, 223, 227, 254-263, 266-293
Roca
- de base 126, 195, 206, 284, 357, 363, 704
- ígnea 128, 275
- magmática 205
- metamórfica 126, 205, 233
- plutónica 195, 205
- sedimentaria 125, 205, 290, 734
- verde 205
Rotación 237-9, 319, 322, 341, 418, 431
Rotativo 359, 364, 733
RP (perfil de resistividades) 223, 229, 240, 252
RRA (evaluación rural rápida) 35
Rx (receptor) 223, 251, 262, 288

S

Sabor 105, 116-8, 139, 152, 397, 714
Sal 127, 143, 153, 191-3
Salida, desagüe 38, 81, 111, 205, 212, 296, 464, 499, 569, 679, 705
Salinidad 102, 140, 177, 223, 244, 613
Salmonela sp. 552, 688, 692
Salud, sanidad 23, 33
- problemas, riesgos 15, 27, 61, 116, 125
- pública V, VI, 3, 41, 104
Saneamiento 509
- cobertura 510
- impacto 512
- indicadores específicos de 663, 673
- infraestructuras 515, 546, 562, 571
- en las escuelas 514
Sarna 29, 552
Saturación-recuperación 285
Saturnismo (envenenamiento con plomo) 104
Schlumberger (configuración) 229, 242, 277, 720
Schmutsdecke, capa (filtro) orgánica 149
Sebkhas 208
Sedimentario 128, 209, 247, 336, 733, 743
Seguimiento
- de la calidad del agua 13, 38, 54, 108, 731
- del proyecto 25, 55, 63, 92
- higiene 596
- de la prueba 393
- piezométrico 213, 391
Seguridad 60, 299
- alimentaria 11, 28, 67, 811
- alimentaria (indicadores) 666, 672
- económica 77, 673
Selenio 129
Semi-Schlumberger 229, 234
Señal de relajación 224, 255, 258, 261
Sepsis, infección 29, 121, 552, 566, 621, 647, 655, 687, 692
Sifón 576, 665
SIG (sistema de información geográfica) 77, 222, 584
Símbolos (trabajos y accesorios) 448, 457
Slingram (método de) 224, 246, 251
SMART 49, 64
Sodio - total disuelto 127
Sondeo, perforación 274
- (desarrollo) 352, 400
- de calibración 255, 258, 271, 367, 375
- eléctrico vertical 223, 232, 244, 722
- equipamiento 197, 318, 348, 382, 710
- ficha, logbook 356, 743
- mantenimiento 402
- medios a movilizar 357
- limpieza 352
- realización 274, 319, 337
- rehabilitación 395
- informe de seguimiento 356, 741
- por percusión 319, 733
- de prospección 235, 270
- de agua 245, 249, 271
- de exploración 209, 263, 357
- por rotopercusión 320, 733
Sonda 244
- electroquímica 133
- electrónica 245, 279
- piezométrica 392
SP (potencial espontáneo) 223, 244
Subcontratación 58
Substrato 168, 267, 277, 283, 348, 406, 409
Sulfato
- de aluminio 83, 94, 123, 140, 142, 144, 481, 495, 498, 758
- de hierro 117, 142, 495, 758
Sulfuro de hierro 110
Superestructura 514, 517-20, 524-8, 532, 545, 551
Superficie
- piezométrica 372, 378
- específica 198, 204
Syscal 231, 276, 293

T

Tanque
- de evaporación 180
- (cajón) rotura de presión 453, 458, 462 - 464
- de decantación 81, 182, 457, 495-6
- de cabecera 446, 452, 483, 486, 489
TDEM (Electromagnetismo en dominio temporal) 223, 226, 246, 253-4, 267-9, 273-9
Techo (acuífero) 165, 195, 204, 293
Temperatura 111, 123-125, 130-3, 149, 153, 200, 265, 414, 706
Tensión 3, 14, 77, 414, 522, 524, 781-6
Teorema de Bernoulli (flujo) 414, 697, 699
Terraza de aluvión 209
Theis
- ecuación de 372
- método de 285, 374, 391
Thiessen (método de) 700, 701
Thornthwaite (fórmula, método del balance) 214, 702-3
Tiempo
- de disminución 261
- de relajación 258
Tifus 121, 510, 552, 603, 685, 688-9
Toma de muestras, muestreo 32, 130 – 5, 576, 709, 713
Topográfico (levantamiento, perfil) 102, 204, 219, 449-51, 486, 550, 704, 815 Torno 296, 297, 300, 304, 306-9, 315-6, 326, 332
Toxicidad
- Concepto 109, 114, 123, 214, 709
Tóxico (riesgo) 108, 426, 555
Tóxicos (minerales, sustancias, elementos) 61, 105, 110-6, 123-8, 131, 135, 137, 215, 300, 674, 714
Tracoma 29

Trampa
- de grasas 530, 549-52, 638, 656
- para sedimentos 182
Transmisión, contagio 527, 621-6, 642, 653, 655, 671
- de enfermedades 514, 562, 567, 629, 632, 657, 712
- fecal-oral 546, 566
- (vías de) 511, 563
Transmisividad 111, 200, 207, 218, 254-60, 367, 372, 374, 381, 389
- puntual 135, 276-82, 285-90, 368, 377, 381, 388, 391
Transportado por el agua 29, 30, 104
Transporte de agua 108, 446, 638
Transporte de agua por camión cisterna 607 -612
Traspaso (hand over) 19, 652
Tratamiento químico (de los sondeos colmatados, taponados) 400 - 401
Tratamiento del agua 139, 496
- procesos 139, 151-2
- productos 155, 158, 757-8
- sistemas 140
Trépanos, brocas 327, 329-31, 364, 734, 739
Tricuriasis 121
Tricono 319-22, 325, 329, 331, 335, 733, 739
Tubería 124, 129, 135, 144, 184
- colocación 473 - 6
Tubo
- inserción 341, 346
- retirada 343, 346
Tubo (resistencia al aplastamiento) 349
Tubos de perforación de PVC con rosca 740
Turbidez, turbio 83, 108-10, 113, 118, 125, 134, 140, 144, 148, 162, 383, 398, 675
Turbidímetro, nefelómetro 125
Turc (fórmula de) 180, 702-4
TVLF (equipo, aparato) 247-51
Tx (emisor) 223, 251, 253, 256, 260, 262, 276, 288, 290, 292

U

Umbral olfativo 128
Unidad
- somalí de ganado (UBS) 614
- tropical de ganado (UBT) 666
- de presión hidráulica 338
- de medida 745, 753
Unidad hidráulica 328-31, 338, 734
Urgencia 219, 645

V

Vaciado
- depósito 458, 459, 789
Valores guías 604, 666
Válvulas 418, 462, 466, 476
Valvulería
- de control 382, 393, 418, 462, 464, 477
- tipo abierta-cerrada 462, 466-7
- de desagüe, vaciado 462, 464, 476
Variación de existencias (hidrología) 704-5
VD (dipolo vertical) 251-2
Vectores
- control 13, 511, 551, 562, 567, 569, 604, 656, 678
Velocidad 188, 699
- angular 261, 264, 321, 753
- de filtración 141, 149, 200-202, 698
- de rotación 332, 418, 428, 431
- efectiva 198, 204, 608, 751
- hidrodinámica 202, 204, 209, 431, 698
Velocímetros 193
Venturi 151, 340-1, 519
Vertedero 120, 189-91, 327, 515, 517, 527, 530, 542, 554, 556, 581, 729
VES (prospección eléctrica vertical) 223, 226, 229, 232, 235, 241, 263, 271, 276
Vibriones158, 621, 623
Virus 30, 105, 115, 122, 144, 148, 158, 515, 556, 693
Viscosidad 323, 745
- cinemática 200, 697, 745
Vitalismo 14
VLF (frecuencia muy baja) 223, 247, 250
Volumen representativo de muestra (VER) 196
Vulnerabilidad
- del recurso 106, 120, 218, 625, 729
- de las capas freáticas 111, 166
- de las poblaciones XXI, 4, 14, 562, 567, 807

W

Wadi (equipamiento) 247-250
Wadis, cuencas de escorrentía 101, 209
Wenner (configuración) 226, 229, 238, 241, 269, 293

Y

Yeso, talco 111, 123, 125, 128, 259, 704, 761

Z

Zanja, trinchera 450, 473, 710
- de infiltración 141, 529, 534, 549, 638
- filtrante 82, 184, 532, 548
- de defecación 543-5, 664, 678

Bibliografia

Referencias Generales sobre los Programas de Agua y Saneamiento

Abdallah S, Burnham G, eds. (2000). *Public health guide for emergencies*. IFRC/The Johns Hopkins University, Baltimore, MD.
Adams J (1999). *Managing water supply and sanitation in Emergencies*. OXFAM, Oxford.
Cairncross S, Feachem R (1993). *Environmental health engineering in the tropics*. John Wiley & Sons, Chichester.
Davis J, Lambert R (2002). *Engineering in emergencies: a practical guide for relief workers*. 2nd ed.
RedR/IT Publications, London.
DFID - WELL (1998). *Guidance manual on water supply and sanitation programmes*. DFID – WELL, London.
Harvey P, Baghri S, Reed RA (2002). *Emergency sanitation: assessment and programme design*. WEDC, Loughborough.
House S, Reed RA (1997). *Emergency water sources: guidelines for selection and treatment*. WEDC, Loughborough.
Sphere Project (2004). *Humanitarian charter and minimum standards in disaster relief*. 2004 ed. Sphere Project, Geneva.
UNHCR (1999). *Handbook for emergencies*. 2nd ed. UNHCR, Geneva.
WHO (2003). *Guidelines for drinking-water quality*. WHO, Geneva.
Wisner B, Adams J (2002). *Environmental health in emergencies and disasters: a practical guide*. WHO, Geneva.

I Elaboración de programas

Action contre la Faim (1998.) *Géopolitique de la faim*. PUF, Paris, 303 p.
ALNAP (2003). *Humanitarian action: improving monitoring to enhance accountability and learning*. Annual Review. ALNAP, London.
Billig P, Bendahmane D, Swindale A (1999). *Water and sanitation indicators measurement guide*. Food and Nutrition Technical Assistance Project, USAID, Washington, DC.
Boot M. (1994). *L'union… fait la santé, intégrer l'éducation à l'hygiène aux programmes eau*. IRC, La Haye, 191 p.
Brikké F, Rojas J (2002). *Key factors for sustainable cost recovery in the context of community managed water supply*. IRC International Water and Sanitation Centre, The Hague.
Cairncross S, Saywell D (2004). *Measuring the health impact of water and sanitation*. WELL website.
Clasen TF, Cairncross S (2004). *Household water management refining the dominant paradigm*. Tropical
Medicine and International Health, 9(2):187-191.
Davis J. & Lambert R. (1997). *Engineering in emergencies,* Red-R 1995. Intermediate Technology Publication, Londres, 717 p.
DFID (1997). *Guidelines for Humanitarian Project Proposals and Reporting*. Department for International Development, London.
Eade D, Williams S (2000). *The Oxfam Handbook of development and relief*. OXFAM, Oxford.

European Commission (1999). *Project cycle management: training handbook*. European Commission, Brussels.
European Commission (1998). *Towards sustainable water resources management*: a strategic approach. European Commission, Brussels.
European Commission (2004). *Aid delivery methods: Vol. 1, project cycle management guidelines*. European Commission, Brussels.
FAO (2004). *The state of food insecurity in the world*. FAO, Rome.
Gasper D (1999). *El Enfoque del Marco Lógico más allá de los proyectos. El seguimiento y la evaluación de la ayuda humanitaria en emergencias complejas*. Revista Española de Desarrollo y Cooperación, No. 4, IUDC.
HCR (1996). *Lutte anti-vectorielles dans les situations de réfugiés*. HCR/OMS, Genève & Rome, 104 p.
OECD (1999). *Guidance for evaluation of humanitarian assistance in complex emergencies*. OECD, Paris.
Prüss A et al. (2002). Estimating *the burden of disease from water, sanitation and hygiene at a global level*. Environmental Health Perspectives, 110(5).
Scanlon J, Cassar A, Nemes N (2004). *Water as a human right?* IUCN, Bonn.
United Nations Committee on Economic, Social and Cultural Rights (2002). *The Right to Water. Articles 11 and 12 of the International Covenant on Economic and Cultural Rights*. CESCR General Comment 15, 26 November 2002, U. N. Doc. E/C.12/2002/11.
World Bank (2004). *Public and private sector roles in water supply and sanitation*. World Bank, Washington, DC.

II Recursos de agua

Appelo C.A.J. et al. (1996). *Geochemistry, groundwater and pollution*. A.A. Balkema, Rotterdam, 536 p.
Beauce A et al. (1996). *Une nouvelle méthode géophysique pour les études hydro-géologiques : l'application de la résonance magnétique nucléaire*. Hydrogéologie 1, 71-77.
Brassington R (1998). *Field hydrogeology*. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York – Toronto.
BRGM (1992). *L'eau des granites, une ressource vitale, un facteur nouveau de développement. Summary of Exploitation des eaux souterraines en zone de socle au Burkina Faso 1984-1991*. Report R33576. BRGM/AQUATER Orléans.
BURGEAP-CIEH (1988). *Essais de débit simplifiés sur forage d'hydraulique villageoise*, 7 p.
Forkasiewicz J. (1972). *Interprétation des données de pompage d'essai pour l'évaluation des parameters de l'aquifère*. BRGM, Orléans, 50 p.
Caron J.M. et al. (1995). *Comprendre et enseigner la planète terre* (3e éd.). Ophrys, Paris, 271 p.
Castany G. (1982). *Principes et méthodes de l'hydrogéologie*. Dunod, Paris, 236 p.
Chapellier D (1987). *Diagraphies appliquées à l'hydrologie*. Lavoisier, Paris.
CIEH and BURGEAP (1988). *Essais de débit simplifiés sur forages d'hydraulique villageois*. BURGEAP. Paris.
D Gaujous (1995). *La pollution dans les milieux aquatiques*. Lavoisier, Paris.
De Marsily G. (1986). *Quantitative hydrogeology, groundwater hydrology for engineers*. Academic Press, Londres, 440 p.
Descloître M. (1998). *Les sondages électromagnétiques en domaine temporel (TDEM) : application à la prospection d'aquifères sur les volcans de Fogo et du Piton de la Fournaise*. Thèse de doctorat de l'université Pierre-et-Marie-Curie (Paris VI), 238 p.
Fetter C.W. (1994). *Applied hydrogeology* (3e éd.). Library of congress, Wiley, New York, 91 p.

Forkasiewicz J (1972). *Interprétation des données de pompage d'essai pour l'évaluation des parameters des aquifères*. 72 SGN 273 AME. BRGM, Orléans.
Fourcassié P, Vouillamoz J-M (2000). *Apport de la géophysique à l'implantation de forages d'eau au Honduras, département de Choluteca*. ACF, Paris.
Genetier B. (1984). *La pratique des pompages d'essai en hydrogéologie, manuels & méthodes* (n° 9). BRGM, Orléans, 132 p.
House S, Reed RA (1997). *Emergency water sources: guidelines for selection and treatment*. WEDC, Loughborough.
Howard AG (2002). *Water quality surveillance – a practical guide*. WEDC, Loughborough.
Kruseman GP, de Ridder, NA (2000). *Analysis and evaluation of pumping test data*. ILRI, Wageningen.
Kunetz G (1966). *Principles of direct current resistivity prospecting*. Gebrüder Borntraeger, Berlin.
Lachassagne P et al. (2001). *Exploitation of high yields in hard-rock aquifers: downscaling methodology combining GIS and multicriteria analysis to delineate field prospecting zones*. Groundwater, 39(4):568-582.
Lencastre A. (1995). *Hydraulique générale*. Eyrolles & Safege, Paris, 633 p.
Lubczynski M, Roy J (2003). *MRS contribution to hydrogeological parameterisation. MRS second international workshop*. BRGM, Orleans.
Maher W (2003). *Drinking water quality*. SER.
Meyer de Stadelhofen C. (1991). *Applications de la géophysique aux recherches d'eau*. Lavoisier, technique et documentation, Paris, 183 p.
Milsom J. (1989). *Field Geophysics*. John Wiley & Sons, New York, 182 p.
Nelson K.D. (1991). *Design and construction of small earth dams*. Inkata Press, Melbourne, 116 p.
Organisation mondiale de la Santé (2004). *Directives de qualité pour l'eau de boisson* (3e éd., vol. 1, Recommandations). Genève, 511 p.
Pacey A. et al. (1986). *Rainwater harvesting, the collection of rainfall and runoff in rural areas*. Intermediate Technology Publications, Londres, 216 p.
Plote H (1986). *Sondage de reconnaissance hydrogéologique, méthode du MFT*. BRGM, Orléans.
Pomerol A. & Renard M. (1997). *Éléments de géologie* (11e éd.). Masson, Paris, 629 p.
Réméniéras G (1986). *L'hydrologie de l'ingénieur*. Editions Eyrolles, Paris.
Robens Centre for Public and Environmental Health (2000). *OXFAM-DELAGUA portable water testing kit, users manual*. University of Surrey, Guildford.
Rodier J. (1996). *L'analyse de l'eau* (8e éd.). Dunod, Paris, 1383 p.
Schneebeli G. (1987). *Hydraulique souterraine*. Eyrolles, Paris, 362 p.
Travy Y. (1988). *Hydrogéochimie et hydrogéologie des aquifères fluorés du bassin du Sénégal, origine et conditions de transport du fluor dans les eaux souterraines*. Thèse sciences, Université de Paris-Sud, Orsay, 190 p.
Université d'Avignon et des pays de Vaucluse (1990). *L'hydrogéologie de l'Afrique de l'ouest, synthèse des connaissances, socle cristallin et cristallophyllien en sédimentaire ancien* (2e éd.). Ministère de la coopération et du développement, collection maîtrise de l'eau, 147 p.
Vouillamoz J-M (2003). *La caractérisation des aquifères par une méthode non invasive: les sondages par résonance magnétique protonique*. Université de Paris XI, Orsay, Paris.
Vouillamoz J-M et al. (2002). *Application of integrated magnetic resonance sounding and resistivity methods for borehole implementation: a case study in Cambodia*. Journal of Applied Geophysics, 50(1-2):67-81.
Vouillamoz J-M et al. (2003). *Localisation of saturated karst with magnetic resonance sounding and resistivity imagery*. Ground Water, 41(5):578-587.
Vouillamoz J-M, Chatenoux B (2001). *Apport de la geophysique à l'implantation de forages d'eau au Mozambique, méthodes électriques, TDEM et RMP*. Proceedings of 3rd Colloque GEOFCAN (51-54). INRA, Orléans.

Vouillamoz J-M et al. (2003). *Magnetic Resonance Sounding: application to the characterisation of the crystalline basement aquifers of Burkina Faso*. Deuxième séminaire international sur la méthode de Résonance Magnétique des Protons appliquée à la recherche non invasive d'eau souterraine. BRGM, Orléans.
WHO (2003). *Guidelines for drinking-water quality*. 3rd ed. Vol. I, recommendations. WHO, Geneva.
Wright E.P. et al. (1992). *The hydrogeology of crystalline basement in Africa*. Geological Society special publication n° 66 (Grande-Bretagne), 264 p.

III El Agua como Alimento

AFVP-GRET (1987). *Le captage des sources* (Dossier n° 10). GRET, Paris, 139 p.
Ball C, Ball M (1991). *Water supplies for rural communities*. IT Publications, London.
Ball P (2001). *Drilled Wells*. SKAT, St. Gallen.
BURGEAP (1980). *La construction des puits en Afrique tropicale* (2e éd.). Ministère de la coopération et du développement, Paris, 235 p.
Carlier M. (1986). *Hydraulique générale et appliquée*. Eyrolles, Paris, 565 p.
Degremont Y. (1989). *Mémento technique de l'eau* (9e éd.). Lavoisier, technique et documentation, Paris, 1459 p.
Jordan D.T. (1980). *A handbook of gravity-flow water supply*. Intermediate Technology, Londres, 224 p.
Lecastre A. (1995). *Hydraulique générale*. Safege, Eyrolles Paris, 633 p.
Mabillot A. (1988). *Le forage d'eau, guide pratique*. Johnson Filtration System, Naintre, 238 p.
OXFAM (1998). *Water treatment in Emergencies*. OXFAM, Oxford.
Pacey A et al. (1986). *Rainwater harvesting: the collection of rainfall and runoff in rural areas*. IT Publications, London.
Pacey A. et al. (1986). *Rainwater harvesting, the collection of rainfall and runoff in rural areas*. Intermediate technology publications, Londres, 216 pages.
Plote H. (1986). *Sondage de reconnaissance hydrogéologique, méthode du MFT*. BRGM, Orléans, 150 p.
Raymond R. (1995). *Drilling for water, practical manual* (2e éd.). Avebury, Aldershot (Grande-Bretagne), 180 p.
Schultz CR, Okun DA (1983). *Surface water treatment for communities in developing countries*. IT Publications, London /John Wiley & Sons, New York.
SOGREAH (1985). *Manuel du technicien du génie rural*. Ministère des relations extérieures, cooperation et développement. La documentation française, Paris, 391 p.
Watt SB (1978). *Ferrocement water tanks and their construction*. IT Publications, London.

IV Saneamiento

Adams J (1999). *Managing water supply and sanitation in emergencies*. OXFAM, Oxford.
Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo / Fundacion Friedrich Ebert-Mèxico (1999). *Saneamiento ecológico*.
Ali M, Cotton A, Westlake K (1999). *Down to earth: solid waste disposal for low-income countries*. WEDC, Loughborough.
Cave B, Kolsky P (July 1999).*Groundwater, latrines and health*. WELL Study. WELL, London.
Cotton A, Saywell D (1998). *On-plot sanitation in low income urban communities*. WEDC, Loughborough.
Feachem R et al. (1983). *Sanitation and disease: health aspects of excreta and wastewater management*. John Wiley & Sons, Chichester.
Franceys R, Pickford J, Reed RA (1992). *A guide to the development of on-site sanitation*. WHO, Geneva.
Harvey P, Baghri S, Reed RA (2002). *Emergency sanitation: assessment and programme design*. WEDC, Loughborough.
Hausman B (1994). *Guidelines for epidemics : cholera*. MSF, Amsterdam.
Lacarin C, Reed RA (1999). *Emergency vector control using chemicals*. WEDC, Loughborough.
PAHO (1982). *Environmental health management after natural disasters*. Scientific Publication 430. PAHO, Washington, DC.
PAHO (2002) *Tecnologías Apropiadas en Agua Potable y Saneamiento Básico (Appropriate drinking water and sanitation technonolgies)*. PAHO, Washington, DC.
Pickford J (1995). *Low-cost sanitation: a survey of practical experience*. IT Publications, London.
Prüss A, Giroult E, Rushbrook P, eds. (1999). *Safe management of health-care wastes*. WHO, Geneva.
Rottier E, Ince M (2003). *Controlling and preventing disease: the role of water and environmental sanitation interventions*. WEDC, Loughborough.
Simpson-Hebert M, Wood S (1998). *Sanitation Promotion*. WSSCC working group on sanitation promotion. WHO, Geneva.
UNHCR (1997). *Vector and pest control in refugee situations*. UNHCR, Geneva.
UNICEF (1998). *A manual on school sanitation and hygiene*. Water, Environment and Sanitation Technical Series - No. 5. UNICEF, New York, NY.
UNICEF (1998). *A sanitation handbook*. Water, Environment and Sanitation Technical Series - No. 3. UNICEF, New York, NY.
WHO (1993). *Guidelines for cholera control*. WHO, Geneva.
Winblad U, Kilaba W (1988). *Sanitation without water*. Macmillan, London & Basingstoke.

V Promoción de la Higiene y Gestión Comunitaria

Almedom AM, Blumenthal U, Manderson L (1997). Hygiene *evaluation procedures: approaches and methods for assessing water- and sanitation-related hygiene practices*. International Nutrition Foundation for Developing Countries, Boston, MS / IT Publications, London.
Benenson, AS, ed. (1995). *Control of communicable diseases in man*. 16th ed. American Public Health Association, Washington, DC.
Cairncross S, Kochar VJ (1994). *Studying hygiene behaviour: methods, issues and experiences*. Sage Publications, London.
Ferron S, Morgan J, O'Reilly M (2000). *Hygiene promotion, a practical manual for relief and development*. IT Publications/CARE International, London.
Hubley J (1993). *Communicating health*. Macmillan, London & Basingstoke.
Narayan D (1993). *Participatory evaluation: tools for managing change in water and sanitation*. World Bank, Washington, DC.
Srinivasan L (1990). *Tools for community participation: a manual for training trainers in participatory techniques*. PROWWESS/UNDP, New York, NY.
UNICEF and The London School of Hygiene and Tropical Medicine (1999). *A manual on communication for water supply and environmental sanitation programmes*. Water, Environment and Sanitation Technical Series - No. 6. UNICEF
Van Wijk C, Murre T (1995). *Motivating better hygiene behaviour: importance for public health mechanisms of change*. IRC International Water and Sanitation Centre, The Hague.

VI Intervenciones Específicas

Adams J (1999). *Managing water supply and sanitation in Emergencies*. OXFAM, Oxford.
Delmas G, Courvallet M (1994). *Public health engineering in emergency situation*. MSF, Paris.
MSF (2004). *Clinical guidelines*. Sixth edition.
OCHA (1999). *Orientation handbook on complex emergencies*. OCHA, New York, NY.
Smout I, Parry-Jones S (1999). *Lessons learned from NGO experiences*. WELL, London.
Telford J (1997). *Counting and identification of beneficiary populations in emergency operations: registration and its alternatives*. Good Practice Review 5. Relief and Rehabilitation Network/ Overseas Development Institute, London.
UNHCR (1992). *Water manual for refugee situations*. UNHCR, Geneva.
UNHCR (1999). *Handbook for emergencies*. 2nd ed. UNHCR, Geneva.

DIRECCIONES DE INTERNET

Compra de ejemplares por internet

El libro se puede adquirir entrando en:
http://www.amazon.fr/exec/obidos/ASIN/2705664998/171-6141234-7069053
http://www.amazon.fr/exec/obidos/tg/browse/-/603060/ref=br_lr__1/171-6141234-7069053
http://www.amazon.fr/exec/obidos/tg/browse/-/603090/171-6141234-7069053
http://www.bedilib.com

Información sobre temas humanitarios, agua y saneamiento.

http://www.reliefweb..int/
Relief Web es el centro global de información en tiempo real de las urgencias complicadas y de las preparaciones para desastres.

http://www.unicef.org/wes/mdgreport/
Objetivos del Milenio para el Desarrollo

http://www.wssinfo.org/
Programa conjunto de seguimiento (JMP) para dotar de agua y saneamiento de UNICEF y la OMS. Esta dirección es a la vez general y concreta, y proporciona una visión del estado del suministro de agua a varios niveles (global, regional, nacional) gracias a una técnica que hace « zoom » hacia adelante y atrás. La información se presenta en forma de textos cortos referidos a gráficos, tablas y mapas.

http://www.dev-zone.org/
Un resumen detallado y clasificado por temas de desarrollo con más de 8017 referencias en línea que incluyen vínculos de Internet, de organizaciones, artículos, informes, fuentes, etc.

http://www.humanitarianinfo.org/
Centro de Información Humanitaria (CIH), a favor de la coordinación de la asistencia humanitaria que suministra informaciones y servicios.

http://worldwaterday.org
Información esencial de Naciones Unidas y del Centro Internacional del Agua y Saneamiento (IRC). Novedades, sucesos y otros.

Información técnica

http://www.worldwater.org/
Información del agua a escala mundial, de los recursos mundiales de agua dulce, datos sobre el agua, libros, vínculos, cronología de los conflictos relacionados con el agua.
http://www.childinfo.org/eddb/water.htm
UNICEF : Base de datos del agua y saneamiento

http://www.gemswater.org/
El programa 'GEMS/Eau' de las Naciones Unidas proporciona informaciones y datos científicos que faciliten la toma de decisiones en el cuadro de una intervención.

http://www.inweh.unu.edu/inweh/maps.htm - Mapas SIG

http://www.thehydrogeologist.com/
Organizaciones e Institutos, fuente de datos geoespaciales, logísticos, terreno y laboratorio, datos del tiempo y de los climas, estudios sobre ciencias de la Tierra.

Gestión del agua

http://www.undp.org/water/
Sitio del PNUD para Agua y Saneamiento. PNUD y los Objetivos del Milenio para el Desarrollo. Iniciativa de las comunidades relacionadas con el agua. Gestión de recursos hídricos. Gestión de aguas fronterizas, oceánicas y costeras. Cambio climático y del agua. Suministro de agua. Saneamiento ecológico. Reforzamiento de las capacidades. Género. Integración.

http://www.oieau.fr/
Oficina Internacional del agua. Refuerzo de capacidades para mejorar la gestión del agua.

Política sobre el agua

http://www.worldwatercouncil.org/
Reflexión sobre la política Internacional del agua.

http://www.internationalwaterlaw.org/
Proyecto de ley internacional sobre el agua

http://gwpforum.netmasters05.netmasters.nl/en/index.html
Gestión Integral de los recursos hídricos. Legislación sobre el agua

Elaboración de programas

http://www.sphereproject.org/
Carta Humanitaria y estándares mínimos en las respuestas a desastres.

http://www.iaia.org/
Asociación Internacional para Evaluar Impactos.

http://www.adb.org/Documents/Guidelines/Logical_Framework/
Utilización del Cuadro Lógico en los sectores de análisis y preparación de proyectos.
Análisis y gestión del proyecto: Guía del usuario.

Generalidades sobre el agua y saneamiento

http://www.worldbank.org/watsan/
Gestión del suministro de Agua y Saneamiento en el entorno rural/urbano. Banco Mundial.

http://www.irc.nl/
Centro Internacional del Agua y Saneamiento (IRC)
Novedades e información, consejo, investigación y formación, sobre la gestión más económica del agua y el saneamiento en países en vías de desarrollo.

http://www.oneworld.net/guides/water/
Guía sobre el Agua y Saneamiento. Saneamiento seguro, Agua limpia, Agua y Objetivos del Milenio, Gestión de la demanda, Escasez de Agua, Agua y cambio climático, Recogida de aguas de lluvia, Agua y guerra, Agua y la privatización.

Técnicas relacionadas con el agua

http://wedc.lboro.ac.uk/
Water, Engineering and Development Centre (WEDC). Aprovisionamiento de aguay saneamiento en casos de urgencia, la empresa del desarrollo, Entorno y salud, desarrollo institucional, gestión de los conocimientos, gestión de residuos, Transporte, servicios urbanos, Agua y Saneamiento.

http://www.lboro.ac.uk/well/
Referencias DFID / WEDC

http://www.cepis.ops-oms.org/
Sitio en español sobre todo lo relacionado al Agua y Saneamiento

http://www.who.int/water_sanitation_health/
Sitio de la OMS sobre Agua y Saneamiento

http://www.thewaterpage.com/
Documentos relativos al agua

Saneamiento

http://www.sanicon.net/
Todo sobre el Saneamiento

Preparación y gestión de desastres

http://www.unisdr.org/
Estrategia Internacional para la reducción de desastres

http://www.crid.or.cr/crid/CD_Educacion/
Educación para la reducción de desastres (español).

http://www.undmtp.org/links.htm
Programa de Naciones Unidas de entrenamiento para la gestión de desastres
Sitios de Internet útiles para la Gestión de Desastres y Emergencias

http://www.disaster-info.net/
Documentos varios relacionados con la gestión de desastres, especialmente en la América Latina y Caribe.

Bibliotecas en línea

http://www.sadl.uleth.ca/
Biblioteca sobre el desarrollo de comunidades: 1.785 publicaciones (160 000 páginas) en varios campos relacionados con el desarrollo de comunidades

http://www.dev-zone.org/
Nociones sobre el desarrollo

http://www.lifewater.org/resources/tech_library.html
Relación de documentos sobre agua, higiene y saneamiento.

http://humaninfo.org/
El objetivo de *Humanitarian Information for All* es proporcionar a todos los relacionados con el desarrollo, el bien estar y las necesidades fundamentales de las personas vulnerables un acceso a una biblioteca completa que contiene la mayoría de las soluciones, conocimientos e ideas necesarios para abordar el problema de la pobreza y mejorar el potencial humano.

Manuales

http://www.lifewater.ca/manuals.htm
Manuales sobre sondeos, pozos y otras técnicas relacionadas con el agua, saneamiento y la salud pública.

Transferencia de competencias

http://www.itdg.org/
Grupo para el Desarrollo de Tecnologías Intermedias. Tecnologías adaptadas al desarrollo

http://www.streams.net/
Centro de recursos del sector Agua y Saneamiento

http://www.la-wetnet.org/
Red de América Latina para la educación y refuerzo de las capacidades en la Gestión de recursos hídricos.

http://www.cap-net.org/
Refuerzo de las capacidades para una Gestión Integral de los Recursos hídricos

Incidencia

http://www.wsscc.org/
Incidencia : Agua, Saneamiento e Higiene para todos.

Glosario

http://www.edwardsaquifer.net/glossary.html
Glosario de términos relacionados con el Agua