

Ingeniería Aplicada a la Cooperación para el Desarrollo, Volumen 9

Abastecimiento de agua y Saneamiento.

Tecnología para el Desarrollo Humano y
acceso a los servicios básicos

Agustí Pérez-Foguet (Ed.)

Ignasi Salvador Villà (Coord.)

Elisenda Realp Campalans

Agustí Pérez-Foguet

Lluís Basteiro Bartolí

Sergio Oliete Josa



Primera edición: Abril 2005

© *Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteras*, editor y autores

ISBN (obra completa):

ISBN (volumen): 84-689-1937-3

Registro: 05/28285

Índice

Índice.....	1
Introducción.....	8
Objetivos.....	11
Objetivos conceptuales	11
Objetivos procedimentales.....	12
Objetivos actitudinales.....	12
1. Contexto tecnológico específico: Hidrología.....	13
1.1 Ámbito de aplicación.....	13
1.2 Ecuación básica de la hidrología.....	13
1.3 Ciclo hidrológico	14
1.4 En permanente movimiento	14
1.4.1 Componentes naturales	15
1.4.2 Componentes aprovechables.....	15
1.5.1 Unidades de medida.....	15
1.5.2 Elaboración de los datos necesarios.....	16
1.5.3 Evaporación y evapotranspiración	16
2. Métodos para la determinación de la precipitación media en una cuenca.....	17
2.1 Introducción.....	17
2.2 Media aritmética	17
2.3 Polígonos de Thiessen	17
2.4 Mapa de isoyetas	18
2.5 Distribución de extremos Gumbel	19
2.5.1 Utilidad	19
2.5.2 Características.....	19
2.5.3 Obtención de Y_i	20
2.5.4 Comprobación.....	20
2.5.5 Obtención de T-x	20
3. Hidrogeología	21
3.1 Ámbito.....	21
3.2 Principales enfoques	21
3.3 Determinación de la disponibilidad del recurso	21
3.4 Determinación de la factibilidad de la extracción.....	21
4. Contexto tecnológico específico: Hidráulica	24
4.1 Ámbito de aplicación	24
4.2 La energía, motor del movimiento.....	24
4.3 La Hidráulica, el abc de los proyectos de agua.....	24
4.4 Flujo a presión	24
4.4.1 Trinomio de Bernoulli	25
4.4.2 Ecuación básica del flujo	25
4.4.3 Pérdidas longitudinales.....	25

4.4.4	Pérdidas puntuales	26
4.4.5	Bombas	27
4.5	Flujo en lámina libre	28
4.5.1	Trinomio de Bernoulli y tipos de flujo.....	28
4.5.2	Fórmula de Manning.....	29
5.	Contexto tecnológico específico: Ingeniería ambiental	31
5.1	Objetivo	31
5.2	Ámbitos	31
5.3	Complementariedad.....	31
5.4	Procesos físicos.....	31
5.4.1	Listado de procesos físicos	32
5.4.2	Algunos comentarios	34
5.5	Procesos químicos.....	34
5.5.1	Listado de procesos químicos	34
5.5.2	Algunos comentarios	36
5.6	Procesos biológicos.....	36
5.6.1	Objetivo	36
5.6.2	Crecimiento microbiano.....	36
5.6.3	Sistemas disponibles	37
6.	Acceso al agua y desarrollo humano.....	41
6.1	Reconocimiento internacional.....	41
6.2	Objetivos futuros	41
6.3	Consecución de objetivos	41
6.4	Interrelaciones entre agua, salud, producción y conflicto	42
6.4.1	Agua y salud	42
6.4.2	Agua y producción agrícola.....	43
6.4.3	Agua y conflicto	43
6.5	Disponibilidad de recursos hídricos y accesibilidad a los servicios de agua y saneamiento	44
6.5.1	Cantidad del recurso agua.....	44
6.5.2	Distribución del recurso respecto a la población.....	44
6.5.3	Accesibilidad a los servicios de agua.....	45
6.5.5	El acceso al servicio de saneamiento.....	46
6.5.6	La calidad en el saneamiento.....	47
6.6	Escalas de intervención: Programas regionales y proyectos a escala local	47
6.6.1	Proyectos	47
6.6.2	Programas	47
6.6.3	Puntos en común.....	48
6.6.4	Diferencias.....	48
6.7	Gestión y explotación: La Administración pública, el sector privado y el tercer sector.....	48
6.7.1	Gestión integral: visión de cuenca	48
6.7.2	Distintas alternativas de gestión.....	49
6.7.3	Efectos de la privatización del servicio de agua en las zonas rurales	50
6.7.4	Tercer sector.....	50
7.	Abastecimiento de agua en comunidades en desarrollo: Parámetros de diseño	51

7.1 Cantidad de agua.....	51
7.2 Distancia máxima	51
7.3 Cálculo del consumo de una comunidad.....	52
7.4 Calidad del agua	52
8. Abastecimiento de agua en comunidades en desarrollo: Captación.....	54
8.1 Captaciones superficiales.....	54
8.2 Captaciones subterráneas	54
8.3 Ríos y manantiales.....	55
8.3.1 Ríos.....	55
8.3.2 Manantiales.....	56
8.3.3 Costes.....	58
8.4 Agua de lluvia.....	58
8.4.1 Descripción estándar.....	58
8.4.2 Situaciones de aplicación.....	63
8.4.3 Coste	63
8.5 Pozos superficiales y profundos.....	63
8.5.1 Pozos superficiales.....	64
8.5.2 Pozos profundos.....	66
8.5.3 Comparativa.....	68
9. Abastecimiento de agua en comunidades en desarrollo: Transporte y distribución.....	70
9.1 Función de las redes de transporte y distribución	70
9.2 Transporte	70
9.3 Distribución	70
9.3.1 Descripción.....	71
9.3.2 Componentes del sistema.....	71
9.3.3 Mayor sostenibilidad.....	72
9.3.4 Costes y nivel de servicio	72
9.4 Bombeo.....	72
9.4.1 Tipologías básicas.....	72
9.4.2 La energía	79
9.4.3 Criterios de selección.....	80
9.5 Redes de distribución a presión	80
9.5.1 Tipos de redes.....	80
9.5.2 Proceso de diseño.....	81
9.5.3 Elemento de la red de distribución.....	84
10. Abastecimiento de agua en comunidades en desarrollo: Tratamiento.....	91
10.1 La calidad del agua en todo el proceso	91
10.2 Objetivos.....	91
10.3 Algunos sistemas necesitan más tratamiento que otros.....	91
10.4 Aireación y sedimentación.....	92
10.4.1 Aireación	92
10.4.2 Sedimentación.....	92
10.5 Filtros de arena	93
10.5.1 Introducción.....	93
10.5.2 Elementos del sistema.....	93
10.5.3 Proceso	93

10.5.4	Tipologías	93
10.5.6	Algunos comentarios de diseño	94
10.5.7	Mantenimiento y efectividad	95
10.6	Cloración	95
10.6.1	Introducción	95
10.6.2	Efectos	95
10.6.3	Posibles modos de aplicaciones	95
10.6.4	Factores que afectan a la eficacia desinfectante del cloro	96
10.6.5	Desinfección Solar	96
10.6.6	Desinfección por yodo	96
11.	Tratamiento de aguas residuales en comunidades en desarrollo: Sistemas autónomos	97
11.1	Saneamiento: evacuación y tratamiento	97
11.2	Sistemas autónomos de saneamiento	97
11.3	Soluciones disponibles	97
11.4	Complemento de proyectos de abastecimiento	97
11.5	Letrinas	98
11.5.1	Descripción estándar	98
11.5.2	Diseño básico	98
11.5.3	Tipologías	99
11.6	Fosas sépticas	104
11.6.1	Descripción	104
11.6.2	Eficacia	105
11.6.3	Funcionamiento habitual	105
11.6.4	Precauciones	105
11.6.5	Diseño	105
11.6.6	Tanques Imhoff	106
11.7	Infiltración en el terreno y reutilización	106
11.7.1	La infiltración en el terreno	106
11.7.2	Distintas soluciones	107
11.7.3	Proceso	108
11.7.4	Consideraciones de operación	108
11.7.5	Información complementaria	108
12.	Tratamiento de aguas residuales en comunidades en desarrollo: Sistemas colectivos	112
12.1	Necesidad	112
12.2	Elementos del sistema	112
12.3	Proyectos en sí mismos	112
12.4	Sostenibilidad	113
12.5.1	Función de las redes de saneamiento	113
12.5.2	Tipos de redes	114
12.5.3	Diseño hidráulico	114
12.5.4	Información complementaria	114
12.6.1	Introducción	116
12.6.2	Comparativa	118
12.6.3	Estudios previos	118

12.6.4 Operación y mantenimiento	118
12.7 Depuradoras.....	119
12.7.1 Diagrama general.....	119
12.7.2 Adaptación en proyectos de cooperación.....	120
12.7.3 Sostenibilidad	121
13. Agua y saneamiento en proyectos de desarrollo: Recomendaciones para la formulación.....	122
13.1 Segundo paso del proyecto	122
13.2 Proceso participativo.....	122
13.3 Facilitadores del proceso.....	123
13.4 La concepción.....	123
13.4.1 Conocer la situación.....	123
13.4.2 Capacidades deseables de la contraparte.....	124
13.5 Formulación y diseño.....	124
13.5.1 Formulación	125
13.5.2 Diseño.....	126
13.6 Listas de comprobación	127
14. Agua y saneamiento en proyectos de desarrollo: Implementación del proyecto.....	129
14.1 Todos intentando seguir el proyecto	129
14.2 El conocimiento técnico se le supone	129
14.3 Centrarse en aquello que no controlamos.....	129
14.4 Requerimientos previos a la construcción.....	130
14.4.1 Justificación	130
14.4.2 Listado no exhaustivo.....	130
14.4.3 Metodología	130
14.5 Requerimientos durante la construcción	131
14.5.1 Justificación	131
14.5.2 Listado no exhaustivo	131
14.6 Requerimientos antes de la puesta en marcha.....	132
14.6.1 Sistema terminado.....	132
14.6.2 Operación y mantenimiento en marcha.....	132
14.6.3 Aspectos económicos resueltos	132
14.6.4 Aspectos normativos resueltos.....	132
15. Agua y saneamiento en proyectos de desarrollo: Monitoreo y evaluación	133
15.1 Monitoreo	133
15.2 Evaluación.....	133
15.3 Principios a seguir.....	133
15.4 Integrado en el proyecto	134
15.5 Metodologías	134
15.6 Diagrama de procesos del proyecto	135
15.6.1 Conocerlos.....	135
15.6.2 Transmitirlos.....	135
15.6.3 Algunos comentarios	136
15.7 Indicadores específicos	136
15.7.1 Comentarios generales.....	136
15.7.2 Clasificación clásica de indicadores.....	136

15.7.3 Indicadores en proyectos.....	137
15.7.4 Indicadores en programas de agua	140
15.8 Acceso a la información.....	140
15.8.1 Proceso de aprendizaje.....	141
15.8.2 Mejora de la evaluación.....	141
15.8.3 ¿Quién debe recibir esa información?.....	141
15.8.4 ¿Qué información deben recibir?	141
15.8.4 ¿Cómo llevarlo a cabo?.....	142
15.8.5 El informe final no es el último informe.....	142
16. Agua y saneamiento en proyectos de desarrollo: Puntos críticos.....	143
16.1 Viabilidad técnica	143
16.2 Viabilidad económica	143
16.3 Gestión del sistema	143
16.4 Capacitaciones	144
16.5 Proyectos integrados.....	144
16.6 Sostenibilidad: operación y mantenimiento.....	144
16.6.1 Principales problemas	144
16.6.2 Sostenibilidad	144
16.6.3 Factores que contribuyen a la sostenibilidad y a una operación y mantenimiento efectivos.....	145
16.6.4 Recambios	145
16.7 Gestión del sistema: comités de agua.....	145
16.7.1 Responsabilidad de la comunidad.....	145
16.7.2 Necesidad de un órgano de gestión.....	146
16.7.3 ¿Cuándo?	146
16.7.4 Composición del comité.....	146
16.7.5 Remuneración	147
16.8 Capacitaciones	147
16.8.1 Importancia.....	147
16.8.2 ¿Quién y cuándo?	147
16.8.3 Personal técnico.....	147
16.8.4 Comité de agua.....	148
16.8.5 Beneficiarios	148
16.9 Proyectos integrados: agua, saneamiento, salud y medio ambiente	149
16.9.1 Abastecimiento y saneamiento	149
16.9.2 Salud.....	149
16.9.3 Medio ambiente.....	149
17. Agua y saneamiento en actuaciones de emergencia.....	151
17.1 Objetivo	151
17.2 Situación especial	151
17.3 Primeros momentos	151
17.4 Situación estabilizada	151
17.5 Problemática específica	152
17.6 Objetivos mínimos.....	153
17.6.1 Abastecimiento	153
17.6.2 Saneamiento.....	154

17.7 Respuesta rápida	155
17.7.1 Preparación.....	155
17.7.2 Coordinación.....	155
17.7.3 Eficacia	156
17.8 Respuesta adaptada.....	156
17.8.1 Estabilización de la emergencia	156
17.8.2 Implicación de los beneficiarios	156
Conclusiones.....	158
Ejercicios de Autoevaluación	160
Solucionario.....	163
Glosario	166
Bibliografía.....	175
Enlaces de interés	179

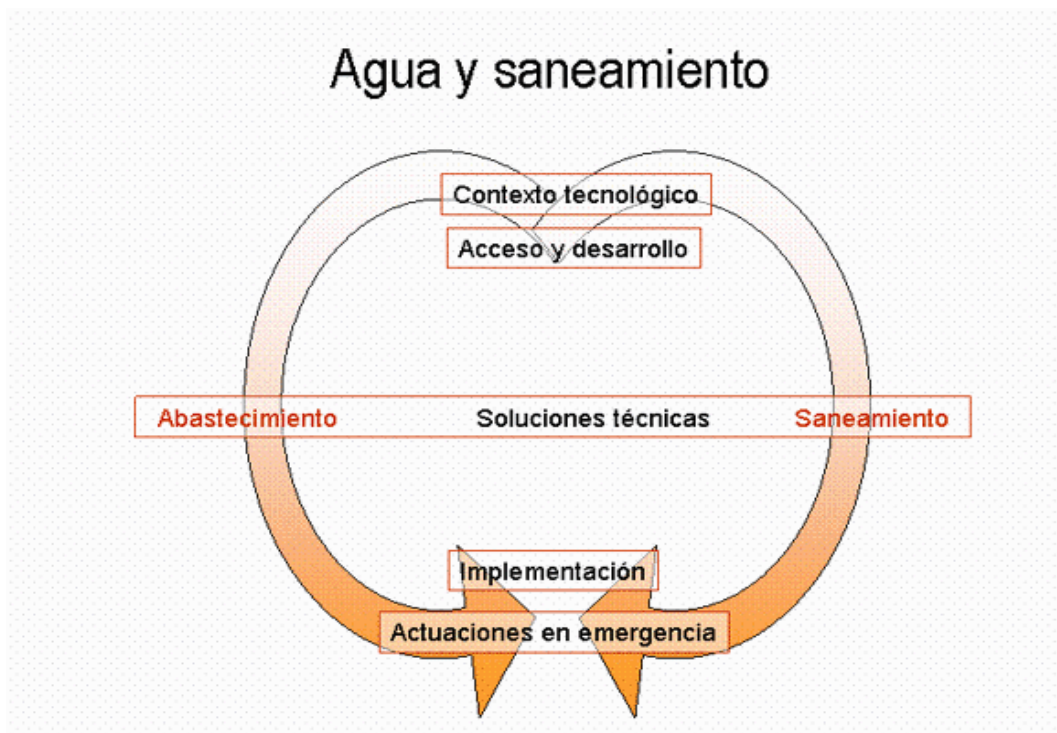
Introducción

Este módulo pretende dotar de una visión global conjunta sobre los aspectos referentes a la ingeniería aplicada al abastecimiento y saneamiento de aguas, en el ámbito de los proyectos de cooperación al desarrollo.

Para ello se han estructurado los contenidos en seis ejes:

- Contexto tecnológico específico.
- Acceso al agua y desarrollo humano.
- Abastecimiento de agua en comunidades en desarrollo.
- Tratamiento de aguas residuales en comunidades en desarrollo.
- Agua y saneamiento en proyectos de desarrollo.
- Agua y saneamiento en actuaciones de emergencia.

Éstos constituyen unidades independientes y siguen el hilo argumental representado en la siguiente figura.



Esquema general del módulo. Fuente: Elaboración propia

Los ejes están ordenados de forma que favorezcan un **acercamiento gradual** desde el campo de la **ingeniería de aguas**, pasando por una visión sobre el estado mundial en

cuanto al agua, a las soluciones finales a adoptar en campo, de acuerdo con las características específicas de las actuaciones en los proyectos de **cooperación al desarrollo**.

Se parte de una primera revisión de los conceptos básicos en el campo tecnológico que actúan en este ámbito, haciendo énfasis en sus principales características y problemáticas.

Tras ello, se plantean las distintas ópticas de actuación sobre la problemática presentada en los módulos introductorios del curso.

Posteriormente se describen las distintas fases y posibles soluciones particulares de las actuaciones en abastecimiento de aguas y saneamiento de aguas.

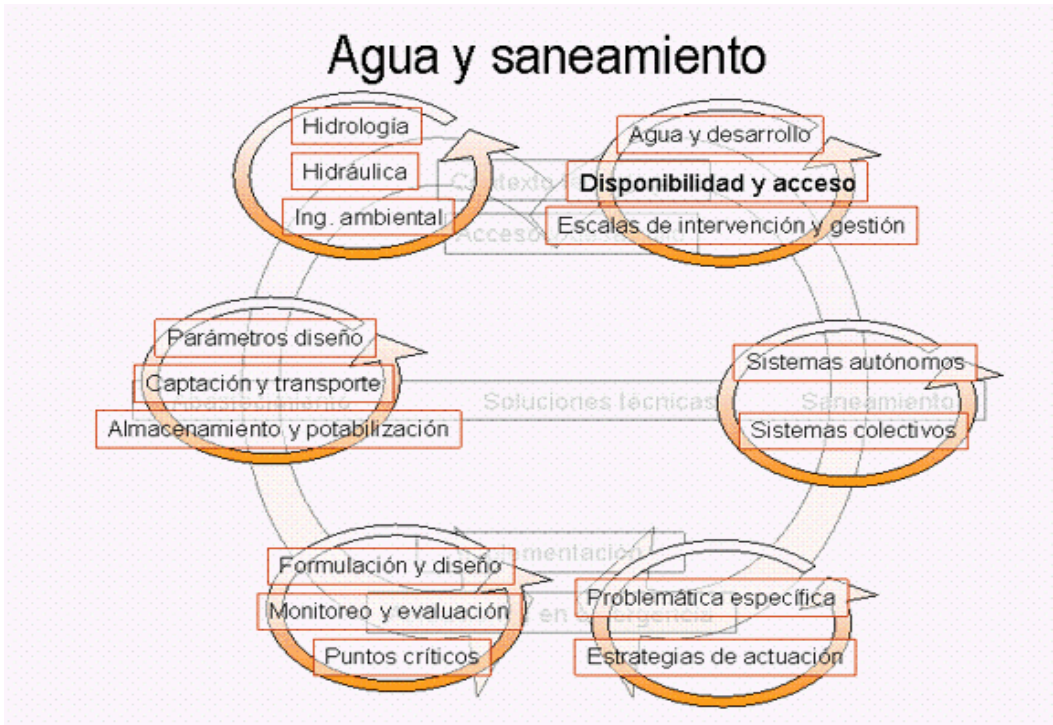
Se dan a continuación una serie de indicaciones y recomendaciones sobre la implementación de dichos proyectos; abordando con más detalle los aspectos más sociales a tener en cuenta para garantizar el éxito de las actuaciones.

Finalmente, y debido a su importancia, se describen detalladamente las características diferenciales de las actuaciones de emergencia en materia de agua.

Las principales características de este módulo son:

- Se describen las soluciones técnicas disponibles.
- Se discuten los aspectos sociales a tener en cuenta para garantizar el éxito de la actuación.

De esta forma, se pretende cubrir los principales conceptos tecnológicos y sociales necesarios para poder plantear y analizar estrategias, programas y proyectos de cooperación al desarrollo, en el ámbito del abastecimiento y saneamiento de aguas.



Esquema del módulo indicando los distintos temas. Fuente: Elaboración propia

Objetivos

Objetivos conceptuales

Objetivo OC4.1. Conocer los conceptos básicos de las distintas disciplinas técnicas que se utilizan en los campos del abastecimiento y saneamiento de aguas en proyectos de cooperación, haciendo énfasis en sus principales características y problemáticas:

- En el campo de la hidrología, analizar y presentar los elementos fundamentales del ciclo hidrológico, así como algunas técnicas de cuantificación de estos fenómenos aplicadas a la solución de problemas en ingeniería.
- En el campo de la hidráulica, presentar los fundamentos necesarios para poder plantear y dimensionar las infraestructuras de abastecimiento necesarias.
- En el campo de la ingeniería ambiental, presentar diversos conceptos que permitan posteriormente diseñar instalaciones de tratamiento de aguas.

Objetivo OC4.2. Disponer de conocimientos fundamentados sobre la relación existente entre el acceso a los servicios de abastecimiento y saneamiento de agua y el desarrollo humano mediante el estudio y la reflexión en torno a las siguientes cuestiones:

- El agua como elemento fundamental en el desarrollo humano: sus implicaciones con la salud o la producción, el agua como fuente de conflicto.
- La disponibilidad mundial de los recursos hídricos y distribución de la accesibilidad a los servicios relacionados (abastecimiento y saneamiento).
- Las distintas escalas de intervención desde los programas regionales a los proyectos a escala local.
- Las distintas soluciones en cuanto a la gestión de los sistemas de agua: administración pública, sector privado y tercer sector.

Objetivo OC4.3. Disponer de los conocimientos técnicos necesarios para poder abordar el diseño técnico básico de un proyecto de abastecimiento de agua en comunidades en desarrollo:

- Revisión de los parámetros de diseño en proyectos de abastecimiento de agua en comunidades en desarrollo.
- Presentación de las principales soluciones tecnológicas para cada una de las distintas fases de los sistemas de abastecimiento: captación, transporte, almacenamiento y potabilización.

Objetivo OC4.4. Disponer de los conocimientos técnicos necesarios para poder abordar el diseño técnico básico de un proyecto de tratamiento de aguas residuales en comunidades en desarrollo:

- Descripción de las soluciones autónomas de tratamiento de aguas (letrinas, fosas sépticas, zanjas de infiltración)
- Descripción de las soluciones colectivas de tratamiento de aguas (redes de saneamiento, lagunaje, depuradoras)

Objetivo OC4.5. Disponer de elementos de análisis para la formulación, implementación, monitoreo y evaluación de proyectos de abastecimiento y saneamiento de agua; sin descuidar ninguno de los puntos críticos habituales.

Objetivo OC4.6. Conocer las características diferenciales de las actuaciones de emergencia en materia de agua en cuanto a:

- La problemática específica en proyectos de abastecimiento o saneamiento en situaciones de emergencia.
- Las estrategias específicas a seguir: parámetros de diseño, capacidad de respuesta rápida y adecuación de la respuesta.

Objetivos procedimentales

Objetivo OP4.1. Abordar con garantías la evaluación técnica básica o el prediseño de un proyecto de cooperación de abastecimiento o saneamiento de aguas.

Objetivo OP4.2. Detectar los puntos críticos de un proyecto de cooperación ya formulado de abastecimiento o saneamiento de agua.

Objetivo OP4.3. Sintetizar, analizar y argumentar razonadamente posicionamientos personales respecto los temas tratados, tanto a través del trabajo individual como mediante herramientas de trabajo colaborativo no presenciales.

Objetivos actitudinales

Objetivo OA4.1. Adquirir un espíritu crítico frente al proceso de privatización de los servicios de abastecimiento y saneamiento de agua en los países en desarrollo.

Objetivo OA4.2. Tener presente tanto los aspectos técnicos como los aspectos sociales en la formulación o evaluación de un proyecto de cooperación de abastecimiento o saneamiento de aguas.

1. Contexto tecnológico específico: Hidrología

1.1 Ámbito de aplicación

Desde el punto de vista técnico, la **hidrología** es punto de partida ante cualquier actuación en proyectos de cooperación al desarrollo relacionada con el recurso agua.

Veamos algunos ejemplos:

Antes de dimensionar una captación de agua de lluvia es necesario conocer la cantidad y distribución temporal de precipitación caída en la zona.

La construcción de una letrina debe tener en cuenta las características del subsuelo, para evitar la contaminación accidental de un posible acuífero inferior (hidrología subterránea).

Esto es debido a que, de una u otra forma, se necesita conocer el recurso disponible, su ubicación, sus características químicas, etc.

1.2 Ecuación básica de la hidrología

La siguiente ecuación resume el equilibrio existente en la Tierra:

$$\begin{array}{c} \text{Precipitación} \\ = \\ \text{Escorrentía Superficial} \\ + \\ \text{Escorrentía Subterránea} \\ + \\ \text{Evaporación} \end{array}$$

Ecuación básica de la hidrología. Fuente: Elaboración propia

Es decir, los procesos de precipitación, escorrentía y evaporación están en equilibrio.

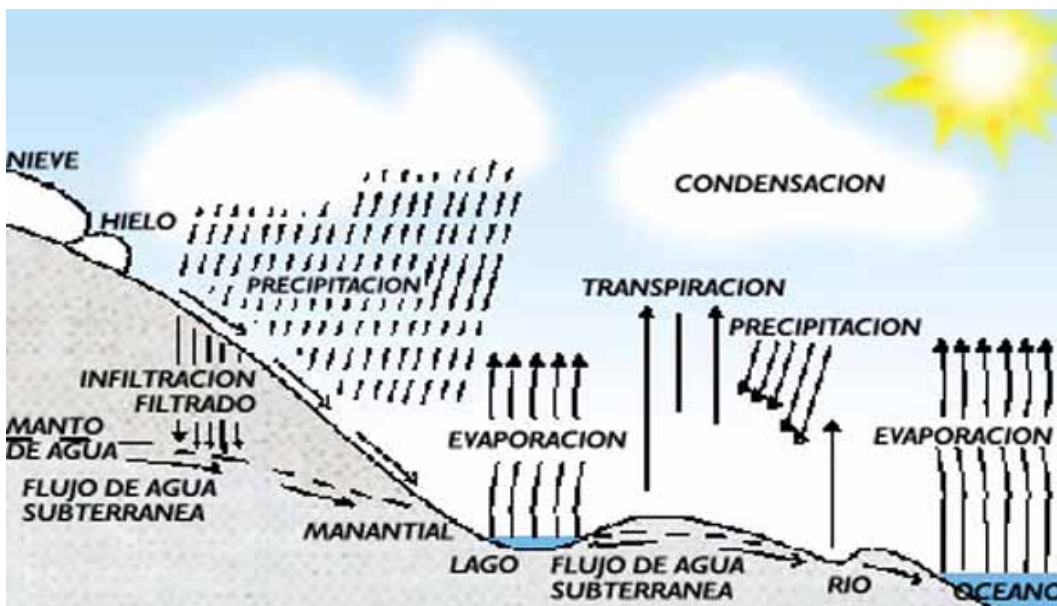
1.3 Ciclo hidrológico

La hidrosfera, en sentido amplio, está constituida por agua en los tres estados (sólido, líquido y gaseoso), presente en la capa atmosférica (vapor de agua, nubes) y en la corteza terrestre (ríos, lagos, acuíferos).

El concepto del **ciclo hidrológico**, o ciclo del agua, parte del principio de que la cantidad o masa total de agua en la hidrosfera es constante en el tiempo, y esta consideración lleva implícita la del movimiento de masas de aguas de un lugar a otro y/o de un estado a otro.

1.4 En permanente movimiento

El ciclo hidrológico es un proceso continuo. No obstante, el movimiento del agua dentro del ciclo hidrológico se caracteriza por su irregularidad tanto en el espacio como en el tiempo.



El ciclo hidrológico, la cantidad de agua en el mundo no varía. Fuente:

<http://www.erres.org.uy/agua.htm>

Ejemplo:

En algunas zonas desérticas, pueden pasar años sin llover, mientras que en otros casos, aún en zonas también desérticas, pueden darse precipitaciones muy importantes.

1.4.1 Componentes naturales

Los componentes primarios del ciclo hidrológico engloban las fases en que el hombre no explota directamente el agua: **precipitación**, **evapotranspiración**, la **intercepción** y la **retención superficial** del agua, **infiltración** y el agua en la **zona no saturada**. No obstante, los seres humanos pueden influir en ellas, provocando lluvias artificiales, reducción de la evaporación, recarga artificial, sistemas especiales de riego, etc.

1.4.2 Componentes aprovechables

Los otros componentes del ciclo hidrológico corresponden a las fases en las que el hombre explota directamente el agua: la escorrentía directa y la escorrentía subterránea forman el volumen total de agua explotable, en teoría, por los seres humanos. Por ejemplo: la construcción de embalses, la derivación de los ríos, la utilización de las aguas superficiales, la explotación de los acuíferos, la recarga artificial, la lucha contra la intrusión salina, etc.

1.5 Precipitación

1.5.1 Unidades de medida

La medición de la precipitación registrada en un episodio es un procedimiento sencillo. Consiste en acumular el agua precipitada en un recipiente, de manera que la altura de agua, en mm, es igual a la precipitación total, en l/m^2 . Así se puede obtener la precipitación total anual, como suma de todos los aguaceros del año.

Hay que tener en cuenta la altísima variabilidad espacial que puede tener la lluvia, especialmente en zonas costeras o de fuertes pendientes. Ello obliga a colocar, por ej., un pluviómetro cada 5 o 10 km².

Para investigaciones regionales hay que tomar los datos de varias estaciones para un cálculo del promedio de las precipitaciones regionales.

La mayor parte de las precipitaciones a escala mundial cae sobre el mar.

1.5.2 Elaboración de los datos necesarios

Según la instalación que se esté calculando, será necesario un dato de precipitación u otro; por ejemplo:

- Para estimar la recarga en un acuífero, se puede necesitar un dato promedio mensual para toda la cuenca de estudio.
- Para calcular el encauzamiento de un río, será preciso el dato de intensidad de lluvia máxima con un periodo de retorno de 25 años.

Es necesario por ello conocer algunas técnicas de tratamiento estadístico de datos como por ejemplo:

1.5.3 Evaporación y evapotranspiración

Una gran parte de las precipitaciones que cae a la tierra se evapora antes de formar parte de la escorrentía (ejemplo: en Europa central alrededor de 50 %), bien sea en forma de evaporación directa o en forma de evapotranspiración.

En consecuencia, es necesario estimar estos parámetros para poder determinar la cantidad de agua que efectivamente llega al suelo.

La medición de la evaporación o evapotranspiración es un de los problemas más complicados en la hidrología. Para determinar la evaporación en una zona hay que conocer detalles de muchas variables como:

- La radiación del sol.
- La temperatura del aire.
- La humedad del aire.
- La velocidad y los movimientos del viento.
- La composición del suelo.

En los cálculos de la evapotranspiración hay que incluir además factores biológicos, como la cantidad y los tipos de la vegetación.

2. Métodos para la determinación de la precipitación media en una cuenca

2.1 Introducción

Muy a menudo necesitaremos calcular la precipitación media en una cuenca; por ejemplo para:

- Determinar el balance hídrico.
- Dimensionar obras de retención.
- Evaluar sistemas de recogida de agua de lluvia.

Se presentan a continuación diversos métodos para obtener la precipitación media. Para ello, se supondrá que se dispone de una cuenca con diversos puntos de medida de la precipitación.

2.2 Media aritmética

Es el método más sencillo, pero menos preciso.

Consiste en calcular la media de los valores de cada estación meteorológica existente en la zona de estudio.

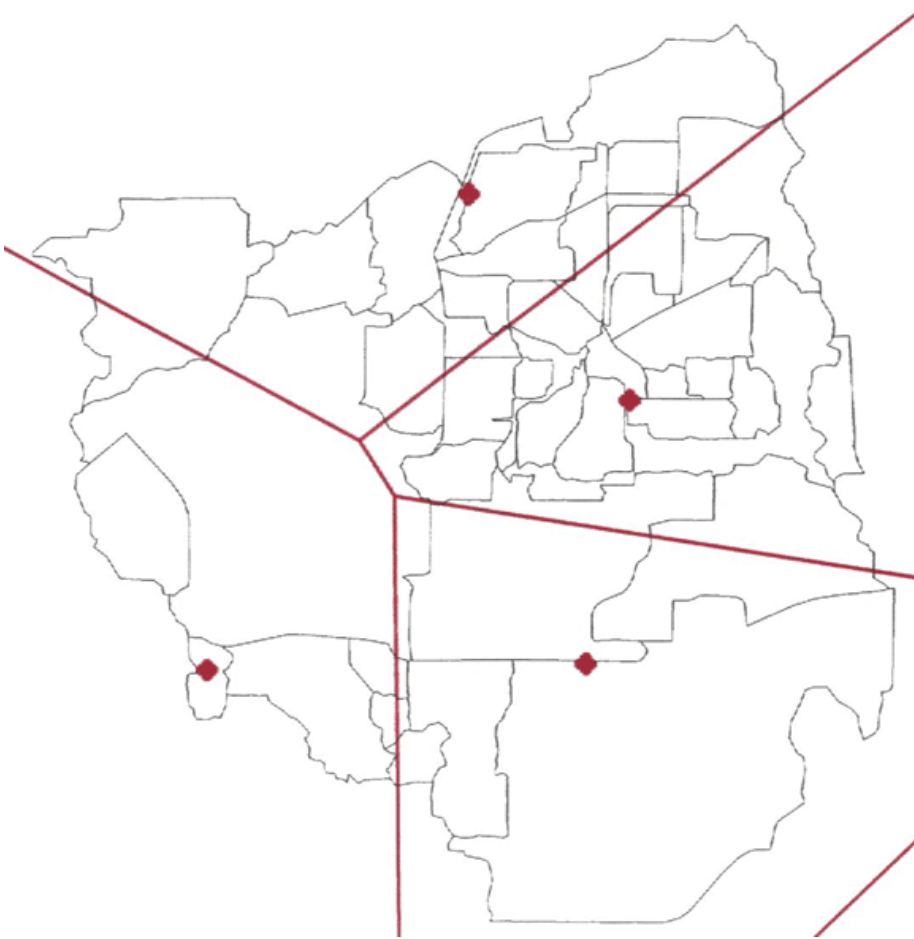
Este método provee de una buena estimación si los pluviómetros tienen **distribución uniforme** en la cuenca.

2.3 Polígonos de Thiessen

Este método consiste en obtener una media ponderada de las medidas de cada pluviómetro teniendo en cuenta el área de influencia de cada uno.

El procedimiento de cálculo es el siguiente:

- Las estaciones se colocan en un mapa y se dibujan líneas que conectan unas con otras.
- Se trazan las mediatrices de dichas líneas, de modo que se forme un mosaico de polígonos.
- Los lados de cada polígono son los límites del área efectiva que se considera para cada estación.
- El promedio ponderado de precipitaciones (lluvias) se calcula multiplicando la precipitación en cada estación por su porcentaje de áreas asignado y sumando éstos valores parciales.



Determinación de la precipitación media según el método de los polígonos de Thiessen. Fuente: Elaboración propia

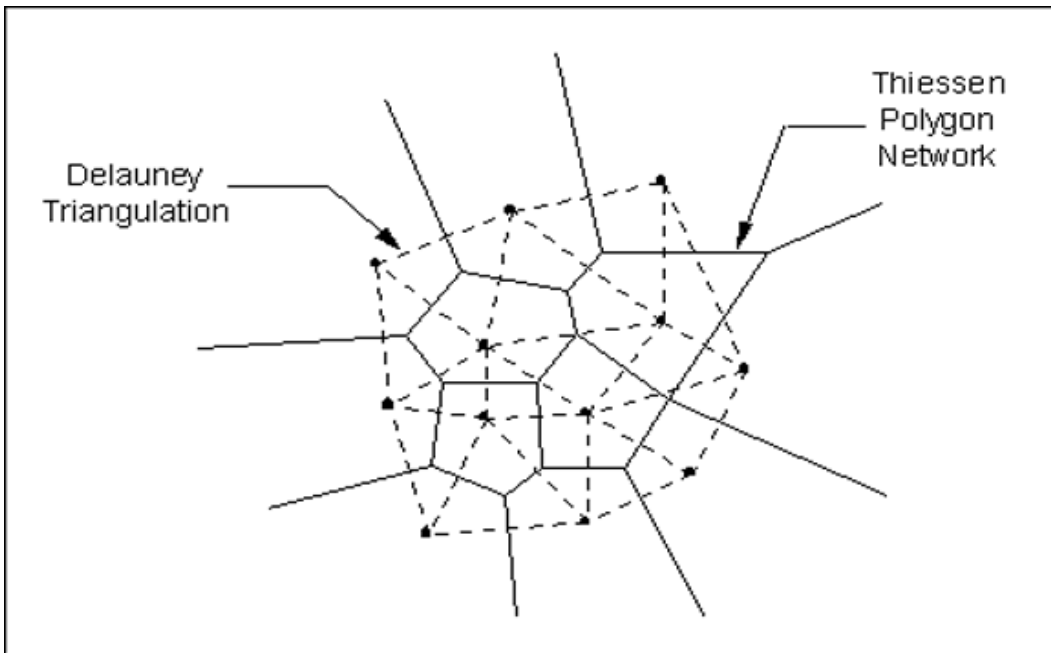
Este método resulta apropiado si los pluviómetros tienen **distribución no uniforme**. No obstante, también tiene sus limitaciones: no tiene en cuenta las influencias orográficas.

2.4 Mapa de isoyetas

Es el método **más preciso**. Se utilizan curvas de igual precipitación. El trazado de estas curvas es semejante al de las curvas de nivel, en donde la altura de agua precipitada sustituye a la cota del terreno.

Se deben considerar los fenómenos orográficos de la cuenca.

Para obtener la precipitación media se debe integrar el mapa de isoyetas y dividir el resultado entre el área de la cuenca.



Mapa de isoyetas de acumulados de precipitación en mm durante la afectación del huracán Mitch en el periodo del 21 al 31 de octubre de 1998. Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales

2.5 Distribución de extremos Gumbel

2.5.1 Utilidad

Se utiliza para representar la distribución de máximos de un cierto fenómeno (p.ej., precipitación máxima anual, caudal máximo anual, etc.). Por tanto, sirve para conocer cuál es la precipitación P relacionada con un cierto periodo de retorno T .

2.5.2 Características

La probabilidad de no excedencia resulta ser la siguiente:

$$P(X < X_i) = \exp(-\exp(-Y_i))$$

Donde Y_i resulta de ajustar los datos iniciales mediante la siguiente recta:

$$Y_i = a \cdot X_i + b$$

2.5.3 Obtención de Y_i

Para realizar el ajuste (hallar a y b) dados los datos X_i , es preciso contar con una serie de valores Y_i . Para aproximarlos se supondrá que los datos X_i se ajustan a la distribución Gumbel. Por tanto, aplicando de forma sucesiva logaritmos, podemos escribir lo siguiente:

- $\ln(P(X < X_i)) = \exp(-Y_i)$
- $\ln(-\ln(P(X < X_i))) = Y_i$

Así pues, conocidos $P(X < X_i)$, conocemos Y_i . Ahora bien, ¿cómo aproximar $P(X < X_i)$? Suponiendo que los datos se comportan de “forma correcta” y que, por tanto, se puede escribir lo siguiente:

$$P(X < X_i) \sim F(X < X_i) = 1 - (i/(n+1))$$

Donde i representa el orden jerárquico dentro de todos los datos; de forma que el dato más elevado, al ser $i=1$ y por tanto $i/(n+1) \sim 0$, resulta tener una probabilidad de no excedencia cercana a la unidad. Por todo ello, resulta ser Y_i lo siguiente:

$$y_i \sim -\ln(-\ln(1 - (i/(n+1))))$$

2.5.4 Comprobación

Con esos valores Y_i ya se puede pasar a ajustar la recta $Y_i = a \cdot X_i + b$ y obtener dichos valores a y b .

En la medida en la que el ajuste sea correcto (la recta debe ajustarse a los puntos; dicho de otro modo, el valor $R \sim 1$), se podrá afirmar que los datos se ajustan a la distribución Gumbel.

2.5.5 Obtención de $T-x$

Puesto que el periodo de retorno T se relaciona con la probabilidad de no excedencia del siguiente modo:

$$T = 1 / P(X > X_i) = 1 / (1 - P(X < X_i)),$$

se puede escribir las siguientes relaciones finales:

$$T = 1 / (1 - \exp(-\exp(-a \cdot X + b)))$$

$$X = (-\ln(-\ln(1 - 1/T)) - b) / a$$

3. Hidrogeología

3.1 Ámbito

La parte de la Geología que investiga el agua del subsuelo, especialmente el agua subterránea, es la Hidrogeología. Por lo tanto estudia:

- Vapor del agua
- Humedad del suelo
- Agua subterránea
- Agua en acuíferos
- Etc.

3.2 Principales enfoques

El movimiento del agua subterránea es muchísimo más lento que el del agua superficial. Dicho **movimiento** depende de la **porosidad** y **permeabilidad** del sustrato (la roca o el suelo). La investigación de los movimientos del agua subterránea y de las propiedades hidrológicas del subterráneo es una parte importante de la Hidrogeología.

3.3 Determinación de la disponibilidad del recurso

Cada día son más importantes los estudios de la explotación del agua porque, aunque el agua es un recurso natural renovable, su sobreexplotación y contaminación con sustancias nocivas son problemas graves en todo el mundo.

3.4 Determinación de la factibilidad de la extracción

La Hidrogeología explora los distintos métodos de explotación del agua subterránea desde los siguientes puntos de vista:

- Cantidad de agua extraíble
- Calidad del agua subterránea

Tipos de acuífero

Introducción

El movimiento del agua subterránea se produce a través de espacios conectados entre sí en el suelo o la roca. Si no existen vacíos de algún tipo, o si los vacíos existentes están aislados (como burbujas de gas), no existe movimiento.

Tipos de huecos en suelo o roca

Espacio poroso: Los **poros** representan el único tipo de vacíos que poseen las rocas no-consolidadas (suelos y sedimentos sueltos como arena, grava etc.).

Grietas: Las grietas, fracturas y diaclasas son los tipos de vacíos principales e importantes en todas las rocas consolidadas (rocas sedimentarias como arenisca; rocas magmáticas o metamórficas como granito, andesita, pizarra etc.).

No obstante, rocas sedimentarias (como conglomerados y areniscas) cuentan a veces con una porosidad muy elevada.

Algunas rocas volcánicas también pueden tener un espacio poroso notable. (Véase el capítulo "vacíos en rocas magmáticas y metamórficas").

En función de la presencia y naturaleza de vacíos, algunas rocas permiten un flujo del agua y otras no lo permiten.

Acuífero y acuífugo

En función de la capacidad de flujo a través del terreno, estos se clasifican en:

Acuífero, aquellas rocas o suelos que permiten el flujo del agua.

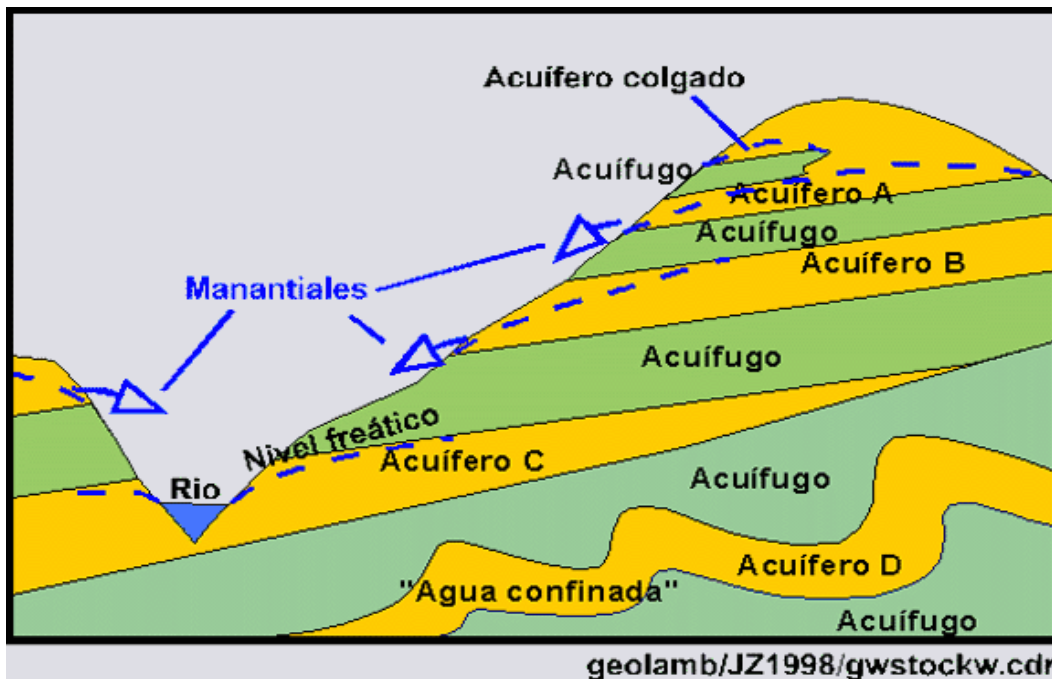
Acuífugo, aquellas rocas o suelos que no permiten el flujo de agua (no necesariamente impermeables).

Acuícludo o acuitardo, aquellas rocas o suelos que permiten un flujo muy limitado de agua.

Ejemplo:

Habitualmente una arcilla es considerada un acuífugo, aunque no es una roca absolutamente impermeable. También a través de la arcilla puede producirse un flujo de agua subterránea, pero un flujo extremadamente lento. En cambio, una formación de sal de roca puede ser considerada como totalmente impermeable.

El gráfico siguiente muestra un ejemplo de una serie de rocas estratificadas con distintas propiedades hidrológicas; es decir, una secuencia de varios acuíferos y acuífugos.



Ejemplo de distintos acuíferos. Fuente: Departamento de Minas - Universidad de Atacama

Propiedades hidrogeológicas de algunas rocas

La siguiente tabla muestra algunas propiedades hidrogeológicas básicas de diferentes rocas. Por 'roca' se entiende rocas sólidas, consolidadas (como caliza, arenisca, granito, etc.) y rocas no-consolidadas como suelos y depósitos cuaternarios).

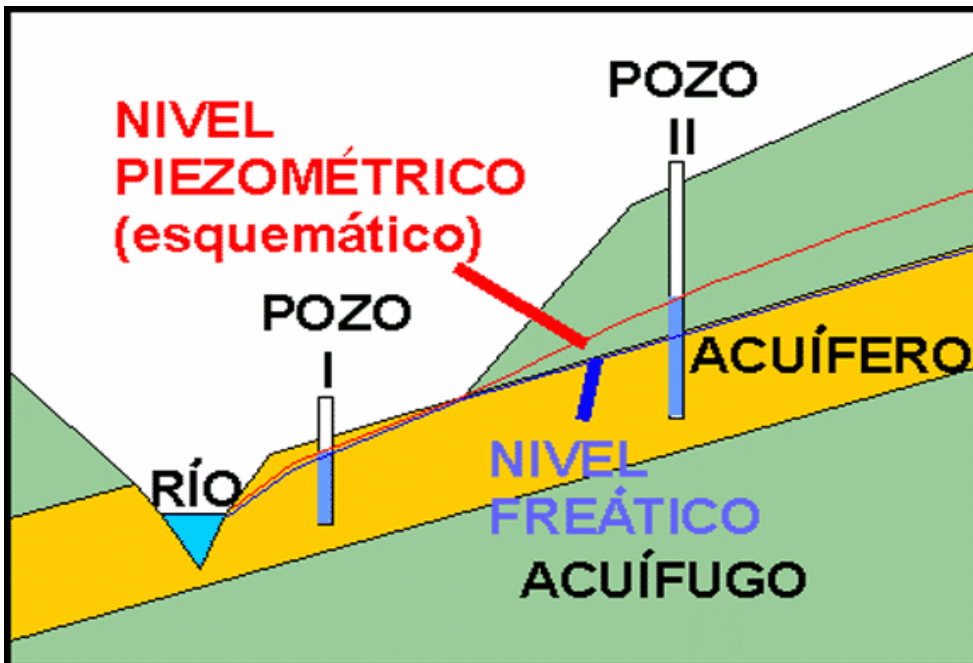
Tipo de roca	Tipos de vacíos	Porosidad	Permeabilidad	Caudal máximo de manantiales [l/min]
Grava	poros	elevada	elevada	3800
Arena	poros	elevada	elevada	1000
Arcilla	poros	elevada	muy baja	< 4
Arenisca poco cementada	poros y fisuras	variable, generalmente elevada	generalmente elevada	hasta 800
Caliza	poros, fisuras y cavernas	muy variable	variable, generalmente elevada	1700 frecuente; hasta 1.000.000
Roca <input checked="" type="checkbox"/> ígnea poco cementada	poros	elevada	variable, generalmente elevada	hasta 2400
Basalto	poros, fisuras y cavernas	variable	variable	entre 1700 y 3800 frecuente
Riolita	poros y fisuras	variable, generalmente baja	variable, generalmente baja	entre 4 y 100 frecuente
Granito no alterado	fisuras	muy baja (casi nulo)	muy baja	4 - 40 frecuente
Gneis	fisuras	muy baja (casi nulo)	muy baja	< 40

Propiedades hidrogeológicas de algunas rocas. Fuente: Departamento de Minas - Universidad de Atacama

Nivel piezométrico y nivel freático en acuífero

Es fundamental distinguir entre nivel freático y nivel piezométrico en un acuífero pues, muy a menudo, estos dos niveles no coinciden.

Aquel acuífero en el que el nivel freático no coincide con el nivel piezométrico se denomina acuífero confinado.



geolamb/JZ1999/aguaconf.cdr

Acuífero confinado en un tramo. Fuente: Departamento de Minas - Universidad de Atacama

4. Contexto tecnológico específico: Hidráulica

4.1 Ámbito de aplicación

Desde el punto de vista técnico, es imprescindible tener los conocimientos necesarios de **hidráulica** para poder plantear las mejores soluciones técnicas en cada caso.

Ejemplo:

El cálculo de un sistema de bombeo, la elección de la bomba o el diámetro de la tubería se basa en la ecuación de flujo en presión.

Ejemplo:

La definición geométrica de una cuneta está basada en el cálculo del caudal máximo circulante por ella. Este cálculo requiere conocer la ecuación de flujo en lámina libre.

En el ámbito de la Hidráulica, las secciones más importantes son:

- Flujo en presión
- Flujo en lámina libre

4.2 La energía, motor del movimiento

Tanto la Hidráulica de flujo en presión como la del flujo en lámina libre se basan en el **principio de conservación de la energía**; de forma que el movimiento del agua se produce de los puntos con mayor energía a los de menor energía.

4.3 La Hidráulica, el abc de los proyectos de agua

La Hidráulica, a diferencia de la Hidrología, es una rama del conocimiento en la que no existen demasiados puntos de incertidumbre. Por lo tanto, todo técnico que intervenga en un proyecto de agua debería dominarla.

Así pues, es inadmisibles que un proyecto de cooperación al desarrollo fracase por una mala medida de las infraestructuras (tuberías, bombas, cunetas, canales, etc.).

4.4 Flujo a presión

4.4.1 Trinomio de Bernoulli

Al aplicar las leyes de conversión de masa y energía a los fluidos, Daniel Bernoulli (1700-1782) formuló la ecuación para el flujo de fluidos que describe la relación entre presión, velocidad y elevación de cualquier punto en un fluido.

4.4.2 Ecuación básica del flujo

Si entre dos puntos cualesquiera conectados hidráulicamente, por ejemplo con una tubería, existe una diferencia de energías, esa diferencia corresponde a las pérdidas producidas en ese tramo de tubería.

Teoría

Trinomio de Bernoulli
 $H = z + P/\gamma + v^2/2g$

Dónde,
 z = energía potencial
 P/γ = energía de presión
 $v^2/2g$ = energía cinética

Ecuación básica del flujo a presión
 $H_A = H_B + \Delta H_{AB}$



Aplicación

Trinomio Bernoulli

$$H_B = z_B + P_B/\gamma + v_B^2/2g$$

$$H_A = z_A + P_A/\gamma + v_A^2/2g$$

Ecuación final a resolver

$$z_A = z_B + \Delta H_{AB}$$

Condiciones de contorno

$$v_B = v_A = 0$$

$$P_B = P_A = 0$$

Trinomio de Bernoulli y Ecuación básica del flujo a presión. Fuente: Elaboración propia

4.4.3 Pérdidas longitudinales

Son aquellas pérdidas energéticas producidas en una tubería por el rozamiento de la masa de agua con las paredes de la tubería.

Para expresar las pérdidas longitudinales existen multitud de formulaciones; todas ellas tienen en cuenta los siguientes conceptos:

- A mayor caudal circulante por la tubería, mayores son las pérdidas.
- A mayor rugosidad en la tubería (debido a los distintos materiales con los que se pueden construir), mayores son las pérdidas.
- A menor diámetro de la tubería, mayores son las pérdidas.

Puede verse cómo todos ellos son evidentes si se piensa que las pérdidas longitudinales son debidas al rozamiento.

Manning

$$h_c = \frac{10.3 \cdot n^2}{D^{5.33}} \cdot Q^2 \cdot L$$

Hazen-Williams

$$h_c = \frac{10.7}{c^{1.85} \cdot D^{4.87}} \cdot Q^{1.85} \cdot L$$

Material	n
Plástico (PE)	0.006 – 0.007
Plástico (PVC)	0.007 – 0.009
Fibro cemento	0.011 – 0.012
Fundición	0.012 – 0.013
Hormigón	0.013 – 0.014
Acero comercial	0.015

Material	c
plástico nuevas	150
fibrocemento	140
hierro nuevas y pulidas	130
hormigón armado	128
acero nuevas	120
acero usadas	110
fundición nuevas	100
fundición usadas	90-80

Unidades

h_c : pérdidas, mca
 Q: caudal, m³/s
 L: longitud, m
 D: diámetro, m

Algunas fórmulas para el cálculo de las pérdidas longitudinales en flujo a presión.

Fuente: Elaboración propia

4.4.4 Pérdidas puntuales

Son aquellas pérdidas energéticas producidas en una tubería por cambios bruscos en el flujo (válvulas, codos, entradas a depósitos, etc).

Las pérdidas localizadas se expresan mediante un coeficiente que multiplica la aportación de la velocidad en el trinomio de Bernoulli. Así pues, su expresión más general es la siguiente:

$$\Delta H_P = \sum \lambda \frac{v^2}{2g}$$

Caso	λ
Válvula de Globo, totalmente abierta	10.0
Válvula de Ángulo, totalmente abierta	5.0
Válvula de Retención de Clapeta, totalmente abierta	2.5
Válvula de Compuerta, totalmente abierta	0.2
Codo de Radio Pequeño	0.9
Codo de Radio Mediano	0.8
Codo de Radio Grande	0.6
Codo a 45°	0.4
Codo de Retorno (180°)	2.2
'T' estándar (flujo recto)	0.6
'T' estándar (flujo desviado)	1.8
Entrada brusca	0.5
Salida brusca	1.0

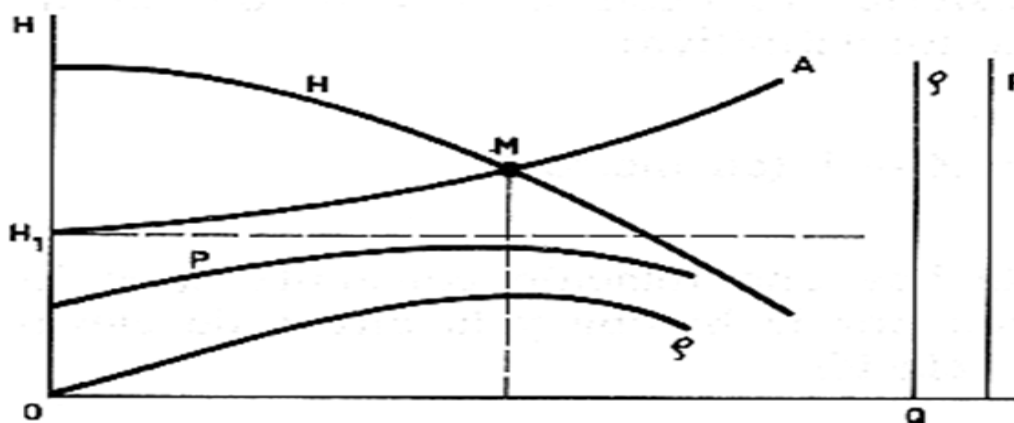
Pérdidas localizadas en flujo a presión. Fuente: Elaboración propia

4.4.5 Bombas

La introducción de una bomba en un tramo de flujo a presión se contabiliza no como pérdida sino como ganancia energética.

La casa que suministra la bomba tiene obligación de suministrar la **curva de la bomba**. Esto es: la curva H-Q que relaciona caudal bombeado y altura piezométrica introducida en el sistema, y la curva r-Q que relaciona rendimiento y altura piezométrica.

Por otro lado, tal como ya se ha visto, las pérdidas de carga de conducciones son proporcionales en orden de magnitud al cuadrado del caudal. Por tanto, para una tubería de un diámetro dado, la **curva característica de la instalación** H1-A vendrá dada por una parábola aproximada, que parte del punto H1. La ordenada OH1 representa el desnivel geométrico.



Punto de funcionamiento de una bomba en una instalación. Fuente: Elaboración propia

Así pues el punto M, intersección de la curva característica de la bomba con la curva resistente de la instalación, será lógicamente el punto de funcionamiento de la bomba. Naturalmente conviene que este punto corresponda al de máximo rendimiento de la misma.

4.5 Flujo en lámina libre

4.5.1 Trinomio de Bernoulli y tipos de flujo

Supuesto un canal, para entender el porqué del movimiento, se analiza el valor del trinomio de Bernoulli en dos puntos cualesquiera de la superficie de agua:

- La presión es la misma a lo largo de todo el canal y coincide con la atmosférica.
- Si la sección del canal no varía a lo largo del canal y el caudal es constante, entonces la velocidad es constante.
- La cota es distinta entre un punto y el otro.

En el flujo en lámina libre, las pérdidas de energía se producen principalmente por pérdida de cota.

En flujo en lámina libre, el trinomio de Bernoulli se puede expresar de la siguiente manera: $H = z + y + v^2/2g$, donde

- H = energía por unidad de masa
- z = cota de la solera del canal
- y = profundidad máxima en la sección
- v = velocidad media del flujo
- g = aceleración de la gravedad

Las ecuaciones que describen el flujo en lámina libre son distintas según las características del canal y el caudal que circule. Para delimitar los distintos tipos de flujo se utilizan las siguientes magnitudes:

- Número de **Reynolds**
- Número de **Froud**

	Reynolds	Froud
<i>Sentido</i>	Da cuenta de la importancia relativa de las fuerzas de inercia respecto a las fuerzas viscosas.	Representa el doble de la relación entre la energía cinética y la energía potencial del flujo.
<i>Fórmula</i>	$Re = \frac{4 \cdot V \cdot R_h}{\nu}$	$Fr = \frac{V^2}{g \cdot h}$
<i>Límites</i>	< 2300. Movimiento laminar > 2300. Movimiento turbulento	> 1. Flujo rápido < 1. Flujo lento 1. Flujo crítico
<p>Dónde,</p> <p>Re = número de Reynolds.</p> <p>V = velocidad media del flujo.</p> <p>Rh = radio hidráulico (cociente entre sección de agua S, y perímetro mojado P).</p> <p>ν = coeficiente de viscosidad cinemática del agua; varía con la presión y la temperatura, pero puede tomarse un valor de 10^{-6} m²/s.</p> <p>Fr = número de Froud.</p> <p>g = aceleración de la gravedad.</p> <p>h = profundidad o altura máxima del agua en el canal o conducto.</p>		

Definición de los números de Froud y Reynolds

De las distintas combinaciones de estos dos parámetros, junto con la estacionalidad o no del flujo, surgen diversas soluciones al flujo en lámina libre. Todas ellas resultan interesantes desde el punto de vista académico, pero no desde el práctico. Por ello se expone aquí únicamente la solución en régimen permanente y uniforme.

4.5.2 Fórmula de Manning

Es quizás la fórmula más utilizada en el cálculo de canales, cunetas, etc. (en general en todo aquello que implique flujo en lámina libre en condiciones estacionarias e uniformes).

La formulación es la siguiente:

$$I = (v \cdot n)^2 / Rh^{4/3}$$

Dónde,

- i = pendiente media del canal, en tanto por uno y no en tanto por ciento
- v = velocidad media del flujo, m/s
- n = coeficiente de Manning: depende del tipo de canal
- Rh = radio hidráulico, m. Resulta ser el cociente entre la sección de agua y el perímetro de canal o tubo mojado

Los valores del coeficiente de Manning son los siguientes:

Tipo de conducto	n, coeficiente de Manning
Revestimiento de hormigón burdo	0,017-0,018
Revestimiento de hormigón liso	0,012-0,016
Canal viejo con depósitos y vegetación	0,019-0,028
Canal en tierra	0,025-0,033
Canal en grava gruesa	0,028
Canal en grava fina	0,022
Canal en arena	0,020
Canal en mampostería	0,018

Además de realizar este cálculo que permite predecir el caudal circulante por un canal (o decidir la pendiente a proporcionar para que circule un determinado caudal), es necesario desarrollar estudios colaterales para conocer aquellas perturbaciones que modifiquen la corriente estacionaria del canal, tales como cambio de sección, obstáculos, entradas y salidas, cambio de pendiente, etc.

5. Contexto tecnológico específico: Ingeniería ambiental

El término ingeniería ambiental se confunde con el término ingeniería sanitaria y recoge todo el conocimiento tecnológico alrededor de la depuración y tratamiento de aguas, tanto potables como residuales.

Su conocimiento nos permitirá definir las actuaciones necesarias para garantizar la calidad del agua.

5.1 Objetivo

Mejorar la calidad del agua (de consumo humano o de vertido), mediante la utilización de tecnologías de tratamiento de bajo costo y alta eficiencia, acordes con los recursos normalmente disponibles en los países en vías de desarrollo.

5.2 Ámbitos

En función del tipo de proceso al que se someta el agua, se pueden distinguir tres ámbitos en la ingeniería sanitaria:

- Procesos físicos: se consigue una mejor calidad del agua mediante la aplicación de tratamientos físicos.
- Procesos químicos.
- Procesos biológicos.

5.3 Complementariedad

A menudo los procesos de mejora de la calidad del agua incluyen tanto aspectos físicos, como químicos y biológicos.

De este modo se consigue aplicar cada proceso en aquello que es más eficiente, consiguiendo un resultado mejor que el obtenido con cualquiera de estos procesos de forma individual.

5.4 Procesos físicos

Las operaciones físicas unitarias tienen su origen en la observación directa de procesos que se dan en la naturaleza y, por tanto, constituyen los primeros métodos de tratamiento empleados por el hombre.

5.4.1 Listado de procesos físicos

Las operaciones físicas unitarias más comúnmente empleadas en el tratamiento del agua residual son las siguientes:

- **Desbaste:** eliminación de sólidos gruesos y sedimentables por intercepción.
- **Homogeneización de caudales:** homogeneización del caudal y las cargas de DBO y de sólidos en suspensión.
- **Mezclado:** mezclado de productos químicos y gases con el agua residual, mantenimiento de los sólidos en suspensión.
- **Floculación:** provoca la agregación de pequeñas partículas aumentando el tamaño de las mismas, para mejorar su eliminación por sedimentación por gravedad.
- **Sedimentación:** eliminación de sólidos sedimentables.
- **Flotación:** eliminación de sólidos en suspensión finalmente divididos y de partículas con densidades cercanas a la del agua.
- **Filtración:** eliminación de sólidos en suspensión residuales presentes después del tratamiento químico o biológico.
- **Transferencia de gases:** adición y eliminación de gases
- **Volatilización y arrastre de gases:** emisión de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles del agua residual.

De todas ellas, en el ámbito de los proyectos de cooperación, las más destacables son:

Desbaste

Descripción

El desbaste es un proceso físico unitario que tiene como objetivo la eliminación de sólidos gruesos y sedimentables por intercepción.

La intercepción se lleva a cabo por medio de elementos separadores constituidos por barras, alambres o varillas paralelas, rejillas, telas metálicas o placas perforadas.

Dispositivos habituales

Normalmente se emplean rejillas de barras o tamices, cuyas características son las siguientes:

- Reja de barras:
 - Tipo de abertura: ranura rectangular.
 - Intervalo de paso: 1,5 – 3,75 cm.
 - Material: Acero, acero inoxidable.
- Tamiz:
 - Tipo de abertura: orificio circular.
 - Intervalo de paso: 0,025 – 0,25 cm.
 - Material: Acero inoxidable.

No debe olvidarse que en el proceso de desbaste se generan unos residuos que deben ser eliminados diariamente.

Sedimentación

Descripción

La sedimentación es un proceso físico unitario que consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua.

Existen cuatro tipos de sedimentación:

- **Partículas discretas:** sedimentación como entidades individuales, no existe interacción sustancial con partículas vecinas.
- **Floculenta:** las partículas se agregan o flocculan durante el proceso de sedimentación.
- **Retardada:** la masa de partículas sedimenta como una unidad.
- **De compresión:** como consecuencia de la compresión de la estructura conjunta de las partículas.

Los términos 'sedimentación' y 'decantación' se utilizan indistintamente.

El objetivo es obtener un efluente clarificado y un fango fácilmente eliminable.

Diseño

Se exponen las bases teóricas que gobiernan la sedimentación de partículas discretas.

Suponiendo que las partículas que sedimentan son esferas, mediante las leyes clásicas de Newton y Stokes, se determina lo siguiente:

$$V_c = (G \cdot (RO_s - RO) \cdot D^2) / (18 \cdot \nu)$$

Dónde:

- V_c : velocidad de sedimentación de la partícula.
- G : aceleración de la gravedad
- RO_s : densidad de la partícula
- RO : densidad del fluido
- D : diámetro de la partícula
- ν : viscosidad dinámica del fluido

Por otro lado, existe una relación entre la velocidad de sedimentación V_c , la profundidad del tanque de sedimentación P y el tiempo de retención del agua T_r :

$$V_c = P / T_r$$

De este modo se determina el diámetro de las partículas que quedan retenidas en el tanque de sedimentación.

No debe olvidarse que en el proceso de sedimentación se generan unos residuos fangosos que deben ser eliminados periódicamente.



Ejemplo de tanque de sedimentación. Fuente: ESF – El Salvador

Flotación

Descripción

La flotación es un proceso físico unitario que se emplea para la separación de partículas sólidas o líquidas flotantes de una fase líquida.

Para ello a veces se deben introducir finas burbujas de aire en la fase líquida, de modo que las burbujas se adhieran a las partículas menos pesadas y las hagan subir a la superficie.

También se favorece así la ascensión de los aceites.

Una vez se hallan las partículas en superficie, pueden recogerse mediante un raspado superficial.

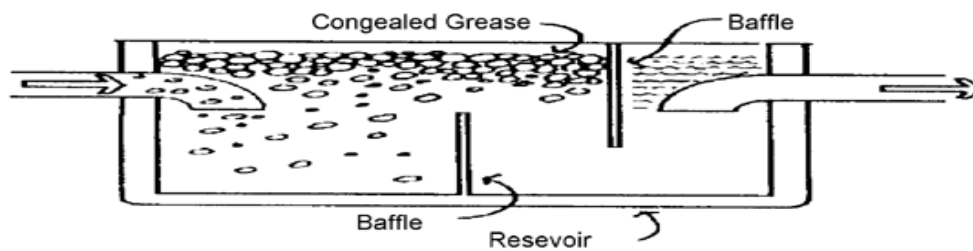
Diseño

En el caso de no tener que insuflar aire a la fase líquida para conseguir que floten las partículas o aceites, el diseño es relativamente sencillo.

Únicamente debe recordarse lo siguiente:

- Colocar un deflector para impedir el paso de los cuerpos flotantes a la siguiente fase del proceso.
- Diseñar un mecanismo de barrido de flotantes para eliminarlos de la fase líquida.

No debe olvidarse que en el proceso de flotación se generan unos residuos aceitosos que deben ser eliminados periódicamente.



Esquema de trampa de grasas. Fuente: Internet

5.4.2 Algunos comentarios

Se trata de procesos sustractivos, por lo que se suele producir una disminución de los constituyentes disueltos en el agua.

El coste de operación, comparado con el de procesos químicos o biológicos, suele ser bajo, siempre y cuando no se requiera de energía externa.

5.5 Procesos químicos

Las operaciones químicas unitarias se basan en su mayoría en la adición de un compuesto químico para eliminar otro presente en el agua residual.

5.5.1 Listado de procesos químicos

Las operaciones químicas unitarias más comúnmente empleadas en el tratamiento del agua residual son las siguientes:

- **Precipitación química:** mejora de la eliminación de sólidos en suspensión en las instalaciones de sedimentación.

- **Adsorción:** eliminación de materia orgánica no eliminada con métodos convencionales. También se emplea para decolorar el agua residual antes de su vertido.
- **Desinfección:** destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades. El cloro es el producto químico más utilizado.
- **Decoloración:** eliminación del cloro combinado residual total remanente después de la cloración.
- **Otros.**

De todas ellas, en el ámbito de los proyectos de cooperación, las más destacables son:

Precipitación química

Descripción

La precipitación química consiste en la adición de productos químicos con la finalidad de alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión, y facilitar su eliminación por sedimentación.

Se suelen utilizar las siguientes sustancias:

- Sulfato de alumina
- Cal
- Sulfato de hierro y cal
- Cloruro férrico
- Cloruro férrico y cal
- Sulfato férrico y cal

El más habitual es el sulfato de alumina que, al ser añadido al agua residual, genera, entre otras sustancias, hidróxido de aluminio. Este compuesto es un flóculo gelatinoso insoluble que sedimenta lentamente arrastrando consigo materia suspendida.

Diseño

La teoría de las reacciones químicas de precipitación es compleja, principalmente debido a los siguientes factores:

- Frecuentemente no son reacciones completas, al agotarse uno de los componentes.
- La composición de las aguas residuales suele ser bastante variable.
- Se producen reacciones secundarias con otras sustancias presentes en el agua.

Desinfección

Desinfección por cloración: proceso

El cloro reacciona con el agua produciendo iones cloro residuales.

En función del pH del agua, se debe seleccionar una de las siguientes formas desinfectantes:

- Ácido hipocloroso
- Hipoclorito
- Monocloramina

Para su aplicación existen diversos productos en el mercado en fase líquida (concentrada o disuelta) o sólida (polvos o pastillas).

Se debe procurar que exista una porción de cloro residual al finalizar la desinfección, para asegurar la calidad del agua durante el transporte de la misma por las tuberías.

Desinfección por cloración: efectos

El principal objetivo es la eliminación de microorganismos patógenos.

Como efecto de la oxidación del agua, se ven modificadas algunas de sus características:

- Eliminación de materia orgánica.
- Oxidación de hierro y manganeso.
- Cloro residual libre o combinado.
- Eliminación de olor, gusto y color.

Factores que afectan a la eficacia desinfectante del cloro

- **Eficacia germicida:** de los distintos compuestos del cloro, el ácido hipocloroso es el más eficaz. Sin embargo, si el tiempo de contacto es el adecuado, la monocloramina puede ser tan efectiva como el cloro.
- **Mezcla inicial:** el cloro debe ser mezclado de forma correcta con la masa de agua a desinfectar.
- **Tiempo de contacto:** el cloro debe estar en contacto con el agua que se quiere tratar un tiempo suficiente. Este tiempo depende en gran medida de la calidad inicial del agua, pero se estima que una de características medias debería estar en contacto con el cloro unos 30 min.
- **Características del agua:** en presencia de compuestos orgánicos se pueden presentar interferencias en el proceso.
- **Características de los microorganismos:** para un cultivo bacteriano joven (1 día), únicamente se requiere un minuto para alcanzar un número reducido de bacterias; si el cultivo bacteriano tiene 10 días, se requieren 30 minutos.

Desinfección por yodo: ventajas

- Independiente del pH (excepto a temperaturas bajas).
- Eficaz contra los organismos patógenos más agresivos.
- Persistencia de valores residuales.

Desinfección por yodo: desventajas

- 20 veces más caro que el cloro
- Sabor y ligero olor
- Difícil preparación a escala industrial

Existen procesos químicos adaptados para la extracción de constituyentes concretos. Se debe estudiar cada caso en particular.

5.5.2 Algunos comentarios

Son en su mayoría procesos aditivos, por lo que se suele producir un incremento neto de los constituyentes disueltos en el agua.

El coste de operación suele ser importante debido principalmente al coste de los reactivos y al energético.

5.6 Procesos biológicos

En la mayoría de los casos, con un análisis y control adecuados del entorno, es posible tratar por vía biológica la práctica totalidad de las aguas residuales.

5.6.1 Objetivo

Los objetivos del tratamiento biológico del agua residual son:

- Coagulación.
- Eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables.
- Estabilización de la materia orgánica.
- Eliminación de nutrientes (nitrógeno, fósforo).

5.6.2 Crecimiento microbiano

Este proceso se consigue gracias a la acción de una variedad de microorganismos, principalmente bacterias que, para poder reproducirse y funcionar de manera correcta, necesitan:

- Fuente de energía: se obtiene de la luz o de la energía química de oxidación.
- Carbono para la síntesis de materia celular nueva: se obtiene de la materia orgánica o del dióxido de carbono.
- Nutrientes inorgánicos: nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio, magnesio.

5.6.3 Sistemas disponibles

Los procesos biológicos de aplicación más común son:

1. Fangos activados

Descripción del proceso

Desde el punto de vista del funcionamiento, se realiza a través de un tanque o reactor biológico, donde se mantiene un **cultivo bacteriano aerobio** en suspensión y se realiza la **oxidación de la materia orgánica**.

El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de **difusores**, que también sirve para mantener el líquido mezcla en estado de mezcla completa.

Al cabo de un periodo determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las viejas es conducida hasta un tanque de sedimentación para su separación del agua residual tratada.

Una parte de las células sedimentadas se hace circular de nuevo para mantener en el reactor la concentración de células deseada, mientras que la otra parte se purga del sistema (fango en exceso).

Papel de los microorganismos

En el proceso de fangos activados, las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que son los causantes de la descomposición de la materia orgánica del afluente.

En el reactor, o tanque biológico, las bacterias aerobias o facultativas utilizan parte de la materia orgánica del agua residual con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en forma de células nuevas.

El de aireación prolongada es una variante del proceso de flujo en pistón con recirculación, donde todas las partículas que entran en el reactor biológico permanecen en el interior del mismo durante idéntico periodo de tiempo.

2. Lagunas aireadas

Descripción

Laguna que contiene oxígeno donde el agua residual se estabiliza parcialmente mediante la actividad metabólica de bacterias y algas.

Las lagunas pequeñas (menores de 0,2 ha y 0,9 m de profundidad) pueden mantener condiciones aerobias sin aeración mecánica.

Las lagunas aeróbicas se basan en el aporte de oxígeno a partir del crecimiento de fotosintetizadores y permiten obtener efluentes de baja **DBO** soluble pero de alto contenido de algas, las que debieran ser cosechadas a fin de controlar los cuerpos receptores.

Algunos parámetros

La **profundidad** debe ser tal que no se produzcan regiones sin oxígeno, teniendo sobre todo presente que la turbiedad impide el paso de la luz solar. Se suelen encontrar profundidades de 30 a 45 centímetros.

Los **tiempos de retención hidráulicos** teóricos (es decir, volumen de la laguna dividido por caudal medio tratado) han de ser de 10 a 40 días, de modo que el terreno requerido para esta tecnología puede ser intolerablemente grande.

La **tasa de carga** de este tipo de lagunas cae en el rango de 85 a 170 kg de DBO5 por hectárea y por día.

Clasificación

Las lagunas aireadas, según el perfil de oxígeno disuelto en ellas, se pueden clasificar como:

- **Aerobias:** el oxígeno entregado permite mantener oxígeno disuelto en toda la laguna, y la mezcla es suficiente para mantener los sólidos biológicos en suspensión.
- **Facultativas:** sólo existe oxígeno disuelto en el estrato superior; en profundidad, está ausente. El grado de mezcla no es suficiente para mantener todos los sólidos biológicos en suspensión, de modo que parte de éstos sedimenta en el fondo. Allí se produce la descomposición anaerobia de los sólidos.

Algunos comentarios

- Tienen **menos costo** de construcción que una planta de lodos activados.
- Ocupan un **área mucho mayor** comparado con el sistema de lodos activados.
- El oxígeno es proporcionado por **aeración artificial** y, en particular, aereadores mecánicos superficiales.
- Se utiliza generalmente **estanques excavados** en tierra.
- Las lagunas aireadas son básicamente un **proceso de lodos activados sin recirculación**, por lo tanto, también se utiliza la cinética bioquímica para formular las ecuaciones de diseño.

3. Filtros percoladores

Descripción

Los filtros percoladores están formados por un lecho de medio filtrante sobre el que se distribuye continuamente el agua residual.

Los filtros percoladores se clasifican en:

- Filtros de baja carga
- Filtros de alta carga
- Filtros de muy alta carga
- Filtros de desbaste

A menudo, se emplean sistemas de filtros de dos etapas en los que se conectan en serie dos filtros percoladores.

Si se dispone de una línea piezométrica favorable, el flujo se puede mantener por gravedad. Si el terreno es demasiado llano para ello, puede ser necesario bombear el agua.

El desprendimiento de olores es un problema habitual en los filtros percoladores, especialmente si el agua residual es séptica o si el clima es caluroso.

Los filtros no se deben ubicar en lugares en los que el desprendimiento de olores pueda representar un inconveniente.

Filtros de baja carga

Dispositivo relativamente sencillo y de gran fiabilidad, que produce una calidad estable del efluente con independencia de la naturaleza cambiante del afluente.

Generalmente, se mantiene una carga hidráulica constante, **no por recirculación**, sino por medio de bombas con control del nivel de succión o con sifones dosificadores.

Los estanques dosificadores son de pequeño tamaño, generalmente con un tiempo de detención de tan sólo 2 minutos para el caudal doble del de proyecto, de tal modo que se minimice la intermitencia de la dosificación.

Habitualmente, sólo los niveles superiores del mismo (0,6 a 1,2 m) presentan un desarrollo elevado de película biológica.

Filtros de alta carga

La **recirculación del efluente** del clarificador del filtro permite conseguir rendimientos de eliminación parecidos a los de los filtros de baja carga y de carga media.

La recirculación a través del filtro del efluente permite:

- Retorno de organismos viables.
- Mejora la eficiencia del tratamiento.
- Prevenir el encharcamiento del filtro.
- Reducir los problemas de olores y de proliferación de moscas.

Los filtros de alta carga suelen utilizar medios constituidos por piedras o materiales plásticos.

Filtros de muy alta carga

- Trabajan a altas cargas hidráulicas y orgánicas.
- Tienen una mayor profundidad.
- La mayoría de estos filtros se constituyen en forma de torres.

Filtro percolador de desbaste

Son filtros de alta carga que se proyectan para trabajar con cargas orgánicas superiores a $1,6 \text{ kg/m}^3 \text{ d}$ y cargas hidráulicas superiores a $187 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$.

En la mayoría de los casos, estos filtros se utilizan como pretratamiento del agua residual.

4. Biodiscos

Origen

Originalmente este sistema consistía en una serie de discos de madera, con diámetros entre 1.0 y 3.5 metros, montados sobre una flecha horizontal que giraba durante el movimiento.

Cerca del 40% del área superficial de los discos se encontraba sumergida en el agua residual.

Actualmente se utilizan placas de plástico corrugado y otros materiales en vez de madera.

Descripción

El proceso es el siguiente:

- Los microorganismos del agua residual afluyente se adhieren a la superficie del material plástico y se desarrollan hasta que toda esta área quede cubierta con una capa o una película microbiana.
- Al girar los discos, la película biológica se adhiere a éstos entrando en contacto, alternamente con el agua residual que está en el estanque y con el oxígeno atmosférico.
- Al salir las aguas del tanque, los discos arrastran una capa líquida sobre la superficie de la película biológica, lo cual permite la oxigenación del agua y los microorganismos.
- Debido a la sucesión de inmersiones y emersiones, la capa líquida se renueva constantemente.

Algunos comentarios

- La oxigenación se realiza por difusión a través de la película líquida que queda adherida a la biomasa.
- Los microorganismos utilizan oxígeno molecular disuelto para efectuar la degradación aerobia de la materia orgánica, que se utiliza como fuente de nutrientes.
- El exceso de microorganismos se desprende de los discos debido a las fuerzas cortantes originadas por la rotación de éstos al pasar por el agua.
- Los microorganismos desprendidos se mantienen en suspensión en el líquido y salen del tanque con el agua tratada.

5. Estanques de estabilización

Descripción y procesos

Tipo de laguna de oxidación en la cual se realiza la oxidación biológica de la materia orgánica mediante la **transferencia natural o artificialmente acelerada del oxígeno del aire al agua**.

Son de estructura sencilla de tierra, abiertos al sol y al aire para que puedan cumplir su misión depuradora.

Para su correcto funcionamiento, en ella deben desarrollarse los siguientes:

- Oxidación progresiva de la materia orgánica en condiciones aeróbicas.
- Reaeración superficial.
- Descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas.

Se clasifican en:

- Aeróbicas
- Anaeróbicas
- Facultativas

Lagunas de estabilización aeróbicas

- Como su nombre indica, operan en presencia del aire.
- **Poca profundidad**, de 1.20 a 0.80 metros, lo que propicia la proliferación de algas que suministran una buena parte del oxígeno necesario.
- Se logran eficiencias de DBO de 65% a 75%.
- Requieren **gran cantidad de terreno**.

- Las sustancias degradables suspendidas y disueltas son estabilizadas por la flora aeróbica microbiana.

Lagunas de estabilización anaeróbicas

- Como su nombre indica, operan en ausencia del aire.
- Generalmente se usan como una primera depuración o pre-tratamiento.
- Con tiempos de 1 a 10 días se obtiene una eficiencia de remoción de DBO de 20 al 60%.
- **Producción de malos olores** que impide su localización en lugares cercanos (500 m) de zonas habitadas.
- **Profundidades mayores** (de 3-5 m).

Lagunas de estabilización facultativas

- Se puede decir que es una combinación de las dos anteriores.
- **Profundidad variable** (1.5-2.0 m).
- Es el tipo de lagunas más usado por su flexibilidad;
- Requieren **menos terreno** que las aerobias y **no producen los olores** de las anaerobias.
- Como en todos los procesos biológicos, el factor que afecta su eficiencia es la **temperatura**.
- Las eficiencias esperadas en estas lagunas van desde el 60% hasta el 85% en remoción de DBO.

Factores determinantes en el proceso

En el funcionamiento de las lagunas de estabilización influyen diversos factores, sobre todo de tipo físico y químico, que tienen determinada repercusión en el mismo:

- Físicos
 - **Temperatura:** cuando es mayor de 30 °C, la actividad de las algas decrece, las bacterias consumen más oxígeno y hay mayor producción de gases en el fondo.
 - **Iluminación:** las algas utilizan entre 2- 9 % de la luz solar.
 - **Vientos:** favorecen el intercambio de oxígeno en la superficie.
 - **Infiltración y evaporación:** si son grandes, el nivel de la laguna baja y no hay efluente (se afecta la actividad de las algas y bacterias).
 - **Precipitación:** su valor equivale aproximadamente al de la evaporación.
- Químicos
 - **Nutrientes:** el más utilizado por las algas es el CO₂ libre.
 - **Oxígeno disuelto:** depende de la actividad microbiana y varía con la temperatura.
 - **pH:** relativamente estable, en condiciones anaeróbicas hay reducción.
 - **Compuestos orgánicos:** algunos ofrecen resistencia a la oxidación.

6. Acceso al agua y desarrollo humano

6.1 Reconocimiento internacional

Que el agua y el desarrollo humano están implicados es algo obvio. En enero de 1992 se realizó la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente en Dublín cuyas conclusiones fueron:

- El agua dulce es un **recurso finito y vulnerable, esencial** para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.
- El aprovechamiento y la gestión del agua debe inspirarse en un **planteamiento basado en la participación** de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles.
- **La mujer** desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la protección del agua.
- El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y **debería reconocérsele como un bien económico.**

6.2 Objetivos futuros

Debido a la situación del agua en el mundo, la comunidad internacional fijó por medio de la **Declaración del Milenio de Naciones Unidas** en 2000 los siguientes objetivos para el año 2015:

- Reducir en un 50% la proporción de personas que no tienen acceso a un agua potable segura o que no puedan costearlo.
- Detener la explotación insostenible de los recursos hídricos a través de la formulación de estrategias de gestión del agua a nivel regional, nacional y local que promuevan tanto el acceso equitativo como el suministro adecuado.

6.3 Consecución de objetivos

Se presentan a continuación algunos datos sobre lo que implican los objetivos marcados para el 2015:

- 1.500 millones más de personas deberían tener acceso a **algún tipo de suministro de agua**, lo cual equivaldría a unos **100 millones más de personas cada año** (274.000/día) hasta el 2015.
- Para conseguir el acceso universal al **agua potable** sería necesario proveer servicios para alrededor de 1.900 millones de personas; o sea, a **125 millones de personas más por año** (342.000/día) hasta el 2015.

- Para alcanzar los objetivos propuestos en las **zonas urbanas, más de 1.000 millones de personas** deberán tener acceso tanto a instalaciones de abastecimiento de agua como a saneamiento durante el transcurso de los próximos doce años.

6.4 Interrelaciones entre agua, salud, producción y conflicto

Se presentan a continuación algunos datos que justifican la gran interrelación que tiene el agua con aspectos como la salud, la producción agrícola o los conflictos

6.4.1 Agua y salud

Para el control de las enfermedades es necesario disponer de una cantidad suficiente de agua potable.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que el 80 por ciento de todas las enfermedades infecciosas en el mundo está asociado a agua en malas condiciones.

Enfermedades Diarreicas:

- Todos los días, las enfermedades de tipo diarreico causan unas 6.000 muertes, la mayoría de las cuales son de niños menores de cinco años.
- En el 2001, 1.96 millones de personas murieron debido a diarreas infecciosas, de las cuales 1.3 millón eran niños menores de cinco años.
- Se produjeron entre 1.085.000 y 2.187.000 muertes debido al factor de riesgo agua, saneamiento e higiene; el 90% eran niños menores de cinco años.
- Con simples medidas de higiene, tales como lavarse las manos después de pasar al retrete o antes de cocinar, se pueden evitar la mayoría de estas muertes.

Malaria:

- Más de 1 millón de personas mueren cada año de malaria.
- Alrededor de 90% de la tasa anual mundial de decesos por malaria tienen lugar en África subsahariana.
- Existen por lo menos 300 millones de casos agudos de malaria cada año.
- Esta enfermedad en África produce costos de más de 12 millones de dólares anuales y disminuye el crecimiento económico de los países africanos en 1.3% cada año.

Esquistosomiasis (bilharziasis)

- Más de 200 millones de personas en todo el mundo sufren de esquistosomiasis.
- 88 millones de niños menores de quince años se infectan con esquistosomas cada año.

- 80% del contagio se lleva a cabo en África subsahariana.

Si una comunidad dispone de poca agua, ya sea porque no está disponible o porque se encuentra demasiado lejos, resulta imposible mantener una higiene personal razonable.

6.4.2 Agua y producción agrícola

Según el **Informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos** de las Naciones Unidas:

- Aproximadamente un 70% del agua disponible se utiliza para el riego.
- Las tierras de uso agrícola han aumentado desde los años 60 alrededor de 12%, alcanzando actualmente los 150.000 millones de hectáreas.
- Las extracciones de agua utilizadas para riego en todo el mundo se estiman actualmente en alrededor de 2.000 a 2.555 km²/año.
- El porcentaje de zonas irrigadas dentro del total de tierras potencialmente irrigables era en 1999:
 - En el mundo: 50%
 - En África subsahariana: 13%
 - En Asia del sur: más del 85%
- El pastoreo y los cereales ocupan un 37% de la superficie total de tierras del mundo.
- Las malas prácticas de drenaje e irrigación causan la saturación y salinización de aproximadamente un 10% de la totalidad de las tierras irrigadas.

6.4.3 Agua y conflicto

- Cerca del 40 por ciento de la población mundial depende del agua de un país vecino.
- Muchas de las más de 200 cuencas compartidas por dos o más países han sufrido ya algún conflicto internacional.
- Actualmente hay más de 2.000 tratados entre países referentes a los derechos sobre el agua.

6.5 Disponibilidad de recursos hídricos y accesibilidad a los servicios de agua y saneamiento

6.5.1 Cantidad del recurso agua

El agua es un elemento abundante en la naturaleza, pero la mayor parte, del orden del 97%, se encuentra concentrada en los océanos. En todo el mundo hay aproximadamente 1.380.000.000 millones de metros cúbicos, con la siguiente distribución:



Distribución porcentual de agua en el mundo. Fuente: Elaboración propia

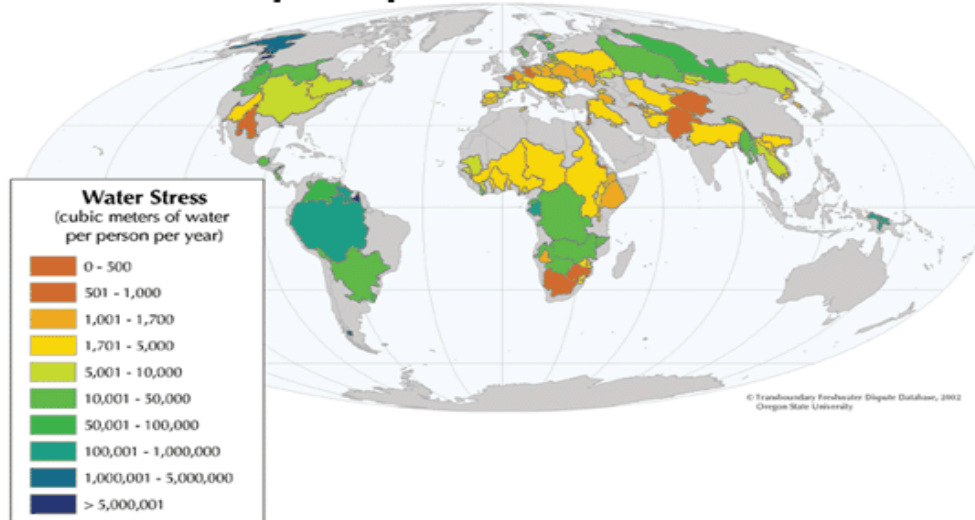
A la vista del gráfico, queda claro que el 95% del agua potable disponible está como agua subterránea, correspondiendo el 5% restante a lagos, embalses y ríos.

La demanda actual de agua supera los 4.000 Km³/año y crece del orden de 150 Km³/año, debido básicamente al aumento de la población.

6.5.2 Distribución del recurso respecto a la población

Para comprender mejor los problemas asociados al agua en el mundo, es necesario conocer cuál es su distribución espacial respecto a la de la población. De este modo detectamos las zonas con mayores problemas.

Disponibilidad de agua per capita en las principales cuencas mundiales



La distribución de disponibilidad de agua *per capita* no es equilibrada. Fuente: Transboundary Freshwater Dispute Database

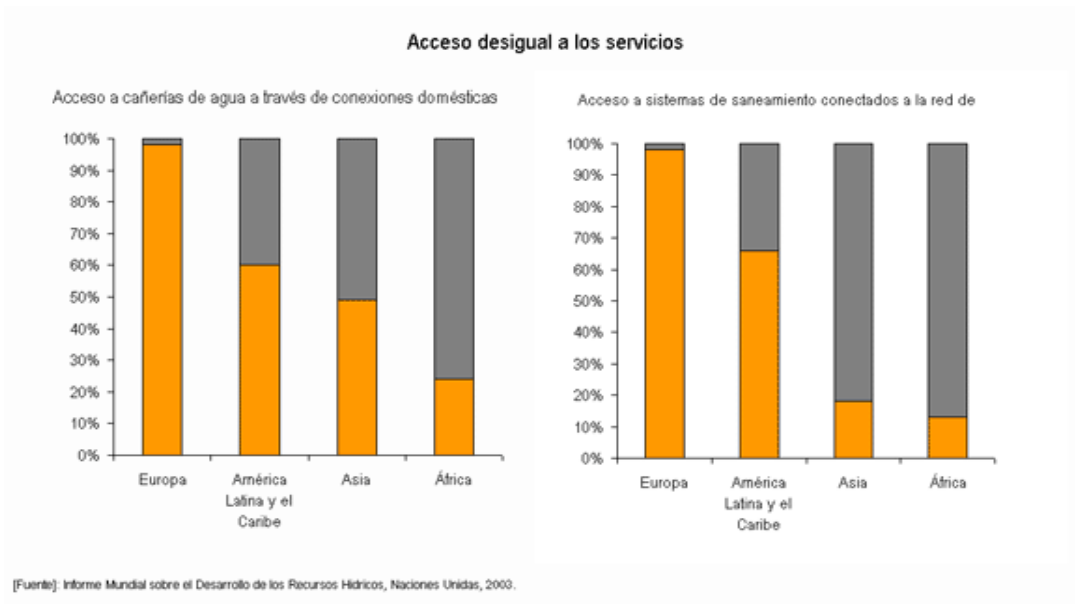
Las zonas con mayores problemas de disponibilidad de agua *per capita* no son necesariamente las zonas con peores servicios de abastecimiento. Esto se debe a que algunos estados invierten más que otros en infraestructura de aprovechamiento del recurso (presas, estaciones de bombeo, etc.).

6.5.3 Accesibilidad a los servicios de agua

Determinar la cobertura de abastecimiento y saneamiento de agua en el mundo no es tarea fácil debido a los siguientes aspectos:

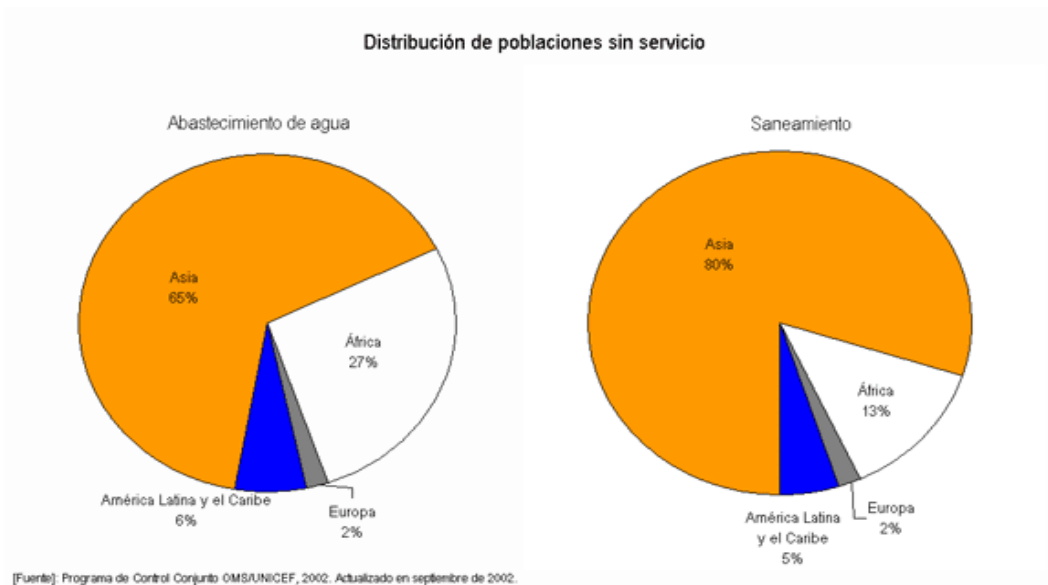
- **Político:** los gobiernos maquillan las cifras para esconder las deficiencias.
- **Técnico:** establecer exactamente los porcentajes de disponibilidad requiere recursos y capacidades que no están generalmente disponibles.
- **Estándares:** los estándares de agua potable difieren de un país a otro.
- **Abandono:** la mayoría de los datos se extraen de proyectos construidos y no de proyectos en servicio.

Así pues, los gráficos de cobertura son superiores a la realidad.



Fuente: Programa de Control Conjunto OMS/UNICEF, 2002. Actualizado en septiembre de 2002.

Asia muestra el mayor número de personas sin servicio, ya sea de abastecimiento de agua o saneamiento; pero es importante observar que, en proporción, este grupo es mayor en África debido a la diferencia demográfica entre los dos continentes.



El acceso a los servicios de agua es desigual. Fuente: Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos, Naciones Unidas, 2003.

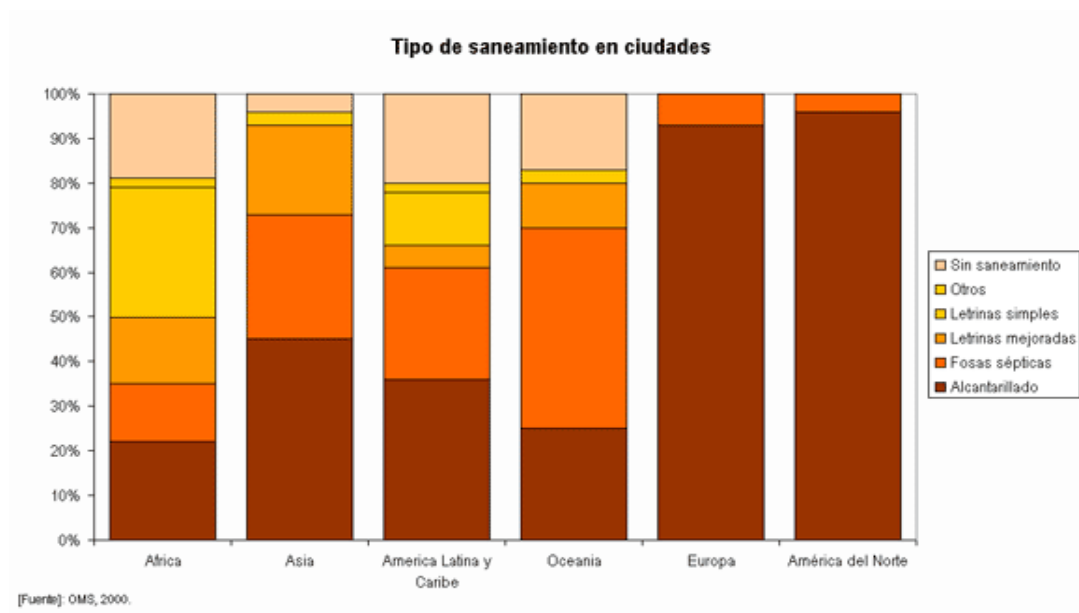
Existen 1.1 billones de personas sin cobertura mejorada de abastecimiento de agua.
 Hay 2.4 billones de personas sin cobertura mejorada de saneamiento de agua.

6.5.5 El acceso al servicio de saneamiento

El saneamiento no es una prioridad ni para los gobernantes ni para los agentes de desarrollo. La inversión en infraestructuras urbanas se basa en criterios de rentabilidad a corto plazo. En la Conferencia de Johannesburgo del año 2002 sobre desarrollo humano sostenible se acordó que el acceso global al saneamiento sería un objetivo prioritario para el 2015.

6.5.6 La calidad en el saneamiento

Una tasa alta de saneamiento no implica que sea de calidad. En las ciudades de África, Asia y América Latina la cobertura oscila entre el 60% y el 80%. Pero gran parte de ese saneamiento es de baja calidad.



Saneamiento en las ciudades más grandes del mundo: porcentaje medio de cada tecnología utilizada, por regiones. Fuente: OMS, 2000.

6.6 Escalas de intervención: Programas regionales y proyectos a escala local

Las acciones encaminadas a mejorar el acceso a agua potable y saneamiento se pueden materializar como **programas** o **proyectos**.

6.6.1 Proyectos

- Un proyecto es un conjunto de actividades interdependientes orientadas a un fin específico, con una duración predeterminada.
- Habitualmente actúa sobre una o pocas comunidades.
- Su objetivo es materializar un sistema de captación y distribución de agua domiciliar o comunitaria, o bien un sistema de saneamiento de aguas residuales.
- Están definidos a escala de proyecto constructivo y son, en definitiva, la concreción de un programa.

6.6.2 Programas

- El enfoque de un programa en el ámbito del agua debe estar basado en una correcta visión de cuenca hidrográfica, que permita valorar la disponibilidad de los recursos hídricos y elaborar un plan de utilización y distribución de éstos.
- A menudo nacen como consecuencia de un aglomerado de proyectos.
- El plazo de ejecución suele ser más dilatado.
- Debido al enfoque integral en el que se basa, los programas afectan a muchos más actores: comunidades, autoridades, organizaciones, etc.

6.6.3 Puntos en común

Tanto los proyectos como los programas tienen ciertas facetas o aspectos diferentes que es necesario armonizar para la consecución del resultado deseado:

- **Dimensión técnica**

Es necesario aplicar los conocimientos específicos de cada área de trabajo, cumpliendo con una forma de trabajar y unos requisitos (el "know how") que cada profesión impone. Es de sentido común que se necesita disponer de los conocimientos adecuados para resolver el problema en cuestión o realizar la obra encomendada.

La importancia de esta faceta técnica no debe eclipsar los demás aspectos que intervienen en la consecución de los objetivos marcados.

- **Dimensión humana**

Un proyecto o programa es un complejo entramado de relaciones personales, donde se dan cita un gran número de intereses, a veces contrapuestos.

Es fundamental conocer de antemano los intereses, habilidades, potencialidades, puntos débiles y posibles conflictos existentes entre los distintos actores para aprovecharlos y prevenir posibles problemas.

6.6.4 Diferencias

- El volumen de los programas suele ser bastante superior al de los proyectos. Así pues, es necesario contar con más personal para llevarlos a cabo.
- Los programas, al incluir habitualmente mayor número de intervenciones, facilitan la estandarización de las mismas, por lo que la replicabilidad es mayor y se mejora la eficacia de la inversión.
- La información requerida en la fase de formulación es distinta en cada caso.

6.7 Gestión y explotación: La Administración pública, el sector privado y el tercer sector

6.7.1 Gestión integral: visión de cuenca

La gestión integral del agua y de las cuencas debería ser el resultado de unas acciones planificadas que incluyeran sucesivamente lo siguiente:

- Ejecución de estudios por cuencas para planificar el ordenamiento del uso del territorio y del uso múltiple del agua y de la cuenca de captación.
- Acciones orientadas a la equidad en el uso del agua.
- Protección del recurso y el medio ambiente.
- Formulación de proyectos.
- Ejecución de los proyectos de forma coordinada.
- Construcción de obras complementarias para diversos proyectos dentro de la cuenca.

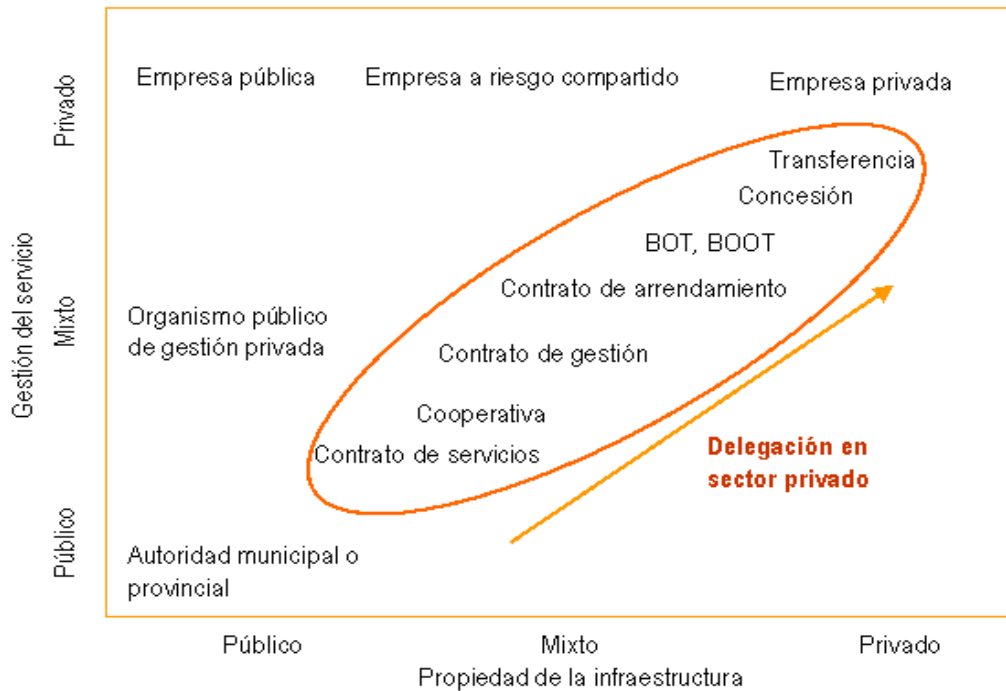
Estas acciones deben ir acompañadas de la creación de **organismos o entidades de cuenca**. Esta entidad debe ser capaz de actuar como facilitadora y coordinadora de las acciones que se lleven a cabo en la cuenca.

La coexistencia de límites jurisdiccionales, institucionales y naturales en una misma cuenca es el principal obstáculo para la gestión del recurso agua con visión de cuenca.

6.7.2 Distintas alternativas de gestión

En principio se podría pensar que la gestión de los sistemas puede ser sólo **privada** o **pública**; pero existe un gran abanico de posibilidades entre estas dos soluciones:

- **Cooperativa**
- **Contrato de servicios**
- **Contrato de gestión**
- **Contrato de arrendamiento**
- **BOT, BOOT**
- **Concesión**
- **Transferencia**



Posibilidades de propiedad y gestión pública-privada de los sistemas de agua. Fuente: The Water Page (<http://www.thewaterpage.com/>)

6.7.3 Efectos de la privatización del servicio de agua en las zonas rurales

Desde la última década, los países empobrecidos están pasando por un proceso privatizador de sus servicios públicos. Antes de ser privatizadas las empresas estatales suministradoras ya daban un servicio muy precario, ineficiente y poco rentable. En el caso del agua, muy a menudo el servicio no llegaba a las zonas rurales.

En el momento que se anuncia la privatización, las empresas públicas dejan de hacer nuevas inversiones.

Dado que el capital inversor no obtendría beneficios, los Estados no venden la empresa suministradora de agua en su conjunto, sino que privatizan el servicio dividiéndolo en ciudades y regiones. En consecuencia, las empresas únicamente compran aquellas grandes ciudades donde el servicio puede llegar a ser rentable y, por tanto, no tienen ninguna obligación de realizar nuevas inversiones en las zonas rurales.

6.7.4 Tercer sector

Aunque los proyectos de cooperación al desarrollo sean habitualmente afrontados por parte del sector no gubernamental, es necesario buscar el acuerdo con los poderes públicos. Los proyectos de desarrollo no deberían reemplazar al Estado o a las municipalidades en sus obligaciones elementales frente a sus ciudadanos.

7. Abastecimiento de agua en comunidades en desarrollo: Parámetros de diseño

7.1 Cantidad de agua

La cantidad de agua que una persona necesita diariamente depende de diversos factores.

Según el clima y la carga de trabajo, el cuerpo humano necesita de 3 a 10 litros de agua al día (lpd) para poder funcionar con normalidad.

Si a eso le sumamos el agua necesaria para cocinar y limpiar, la cantidad mínima en situaciones de emergencia podría ser de 15-20 lpd.

En situaciones de desarrollo medio, esa cantidad debería aumentarse hasta los 40 lpd y los 80 lpd.

7.2 Distancia máxima

Por otro lado, está demostrado que la cantidad de agua consumida está relacionada con la distancia a la que hay que ir a buscarla.

Ejemplo:

Si una mujer está a media hora del punto de agua más cercano y su familia tiene 5 miembros, considerando que pueda llevar un cántaro de 25 litros, deberá realizar 4 viajes a la fuente, invirtiendo 4 horas diarias en ello. Es lógico que esta familia reduzca su consumo de 20 lpd a 10 lpd, por debajo de cualquier estándar.

Así pues, se considera que, para garantizar una dotación eficaz, nadie debería andar más de 15 minutos hasta el punto de agua más cercano.

Tipo de abastecimiento de agua	Consumo (lpd)	Rango (lpd)
Punto de agua comunal a más de 1000 m	7	5 – 10
Punto de agua comunal entre 500 y 1000 m	12	10 – 15
Punto de agua comunal a menos de 250 m	20	15 – 25
Conexión domiciliar	50	40 – 80

Concepto	Emergencia	Post-emergencia	Criterios de desarrollo
Cantidad de agua	3-10 lpd	15 lpd	20-50 lpd
Usuarios / punto de agua	500-750	250 – 500	150-250
Distancia	1 km	500-700 m	250 m
Tiempo de espera	2 horas	20 minutos	-

Parámetros de diseño referentes a dotación y nivel de servicio. Fuente: Adaptación ACF, IRC y OMS

7.3 Cálculo del consumo de una comunidad

Es muy habitual calcular el consumo de una comunidad para compararlo con el caudal disponible de una fuente. En estos casos debe considerarse lo siguiente:

- Utilizar una **familia tipo** para extrapolarla a toda la comunidad.
- Tener también en cuenta las escuelas, centros de salud, iglesias, etc.
- Estimar una tasa de crecimiento para la comunidad. Proyectar para la vida útil del proyecto (habitualmente 20 años).
- Aumentar en un 10% el resultado para incluir posibles fugas del sistema.

7.4 Calidad del agua

El agua para consumo doméstico debe ser segura en cuanto a la calidad. Sería **deseable** que fuera:

- Clara.
- Poco turbia.
- Sin gusto, olor ni color.

Existen **razones sanitarias** para establecer que el agua debe cumplir lo siguiente:

- No debe ser salina.
- Contenidos de calcio y magnesio dentro de unos rangos aceptables.
- Sin exceso de sodio.
- Contenidos de sulfatos y nitratos limitados.
- Concentración estrictamente restringida de ciertos metales tóxicos.

Por otro lado, la **calidad bacteriológica** debe estar asegurada, evitando la presencia de organismos patógenos causantes de enfermedades. Esto muchas veces es difícil asegurarlo, así que, como mínimo, debería seleccionarse una fuente de agua con la menor contaminación bacteriológica posible, e incluir un sistema de desinfección en la solución adoptada.

La **OMS** establece unos **estándares de calidad** que se deben entender como una referencia de objetivos a largo plazo, y **no como criterios rígidos**.

Concepto	Unidad	Valores OMS	Concepto	Unidad	Valores OMS
Color	mg/l Pt	15	Zinc como Zn	mg/l	3
E. coli	Ud/100ml	No	Aluminio como Al	µg/l	200
Coliformes termotolerantes	Ud/100ml	No	Antimonio como Sb	µg/l	5
DBO ₅	Mg/l O ₂	<1	Arsénico como As	µg/l	10
Sólidos disueltos	mg/l	1 000	Cadmio como Cd	µg/l	3
Olor	TON	Aceptable	Cromo como Cr	µg/l	50
pH	-	<8.0	Cobre como Cu	µg/l	2 000
Gusto	FTN	Aceptable	Cianuro (libre) como CN	µg/l	70
Turbiedad	NTU	< 5	Hierro como Fe	µg/l	0,3
Amonio como N	mg/l	1.5	Plomo como Pb	µg/l	10
Cloro como Cl	mg/l	250	Manganeso como Mn	µg/l	100
Fluor como F	mg/l	1.5	Mercurio como Hg	µg/l	1
Nitritos y nitratos como N	mg/l	< 1	Níquel como Ni	µg/l	20
Sulfatos como SO ₄	mg/l	250	Selenio como Se	µg/l	10
Sodio como Na	mg/l	200			

Algunos parámetros organolépticos, bacteriológicos y químicos de calidad del agua para consumo humano. Fuente: OMS

La prioridad debe ser siempre proporcionar una cantidad adecuada de agua, dentro de unos estándares de calidad aceptables.

8. Abastecimiento de agua en comunidades en desarrollo: Captación

El primer elemento de cualquier sistema de abastecimiento de agua es la captación. Ésta puede ser de aguas superficiales o de aguas subterráneas.

8.1 Captaciones superficiales

Las captaciones superficiales incluyen:

- Agua de lluvia.
- Arroyos y ríos.
- Lagos y embalses.

Cada uno de estos tipos requiere obras de distinta naturaleza e importancia, pero todos ellos comparten que una ejecución inadecuada puede influir en:

- La calidad del agua servida.
- Los problemas aguas abajo: sistemas de tratamiento, conducciones, depósitos, red de distribución.

Exceptuando el agua de lluvia, el resto presenta un serio inconveniente respecto a las subterráneas: la existencia de zonas habitadas o de pastoreo animal aguas arriba del punto de toma puede conllevar problemas sanitarios.

Por ello, en fase de diseño se debe prever lo siguiente:

- Conocer el estado sanitario.
- Determinar los caudales disponibles, dejando un caudal ecológico en la fuente para no afectar los usos previos que esta pudiera tener.
- Conocer la calidad de agua y prever actuaciones en materia de tratamiento de la misma.

8.2 Captaciones subterráneas

Parte de la precipitación en la cuenca se infiltra en el suelo hasta la zona de saturación, formando así las aguas subterráneas.

La explotación de éstas dependerá de las características hidrológicas y de la formación geológica del acuífero.

La captación de aguas subterráneas se puede realizar a través de:

- Manantiales.
- Pozos profundos.
- Pozos superficiales.

Habitualmente la calidad de las aguas subterráneas es superior a la del agua superficial debido a la menor influencia del hombre sobre ella.

Por otro lado, las obras de captación suelen ser bastante más caras y requieren de estudios previos.

Desde el punto de vista presupuestario, pocas organizaciones destinan fondos a realizar estudios hidrológicos previos para conocer la presencia y calidad del agua subterránea. Esto hace que las obras de captación de agua subterránea sean una incógnita hasta el final, económica y técnicamente hablando.

8.3 Ríos y manantiales

8.3.1 Ríos

Para poder decidir si los arroyos o ríos (sobre todo los primeros) nos pueden servir de fuente de abastecimiento hace falta conocer:

- Magnitud de las precipitaciones en la cuenca.
- Superficie de la misma.
- Coeficiente de escorrentía.

Es necesario conocer la distribución a lo largo del año de la cantidad de agua que circula por el río para determinar el **caudal mínimo anual** y, por tanto, qué cantidad de agua podemos asegurar durante todo el periodo del año completo.

En función de si el caudal circulante es o no elevado, las soluciones técnicas más adecuadas son distintas.

Tipologías de obras de captación en ríos

Toma lateral

Si el nivel de la corriente es apreciable, basta hacer un pozo en la margen, dándole entrada por encima del nivel de máximas avenidas; bien por con una simple tapa, bien por una caseta debidamente protegida por un terraplén periférico para evitar que una gran avenida destroce total o parcialmente la obra.

Conviene poner rejilla en el canal o galería de enlace con el río para evitar la entrada de cuerpos flotantes. Una separación típica entre barras es de 5 a 10 cm.

8.3.2 Manantiales

Las principales condiciones que han de cumplir las obras de captación de manantiales son las siguientes:

- No alterar la cantidad y calidad del agua ni por disposiciones constructivas, ni por los materiales empleados. Utilizar materiales inertes que no se degraden y puedan producir obstrucciones a la vena líquida.
- Evitar la penetración de las aguas exteriores en el manantial, así como de cualquier organismo extraño. Impermeabilizar las cubiertas y recubrir los paramentos exteriores con una capa de 20 cm de grosor de asfalto, concreto o arcilla.
- Conservar las condiciones físicas del agua captada: temperatura, etc. Dispositivos de ventilación (rejillas por ejemplo) bien protegidos. Una capa de 0,5 m de tierra que proteja de los cambios de temperatura.
- Regular automáticamente el caudal a conducir. Disponer un aliviadero y llaves de paso para regular la cantidad de agua que se toma.
- Eliminar las arenas si existen. Instalar un arenero.

Además de todas estas protecciones localizadas, debe establecerse lo que se denominan **zonas de protección**, en las que no se debe permitir el cultivo, la entrada de ganados ni las construcciones. Es difícil dar un número de aplicabilidad generalizada para estas zonas, pero como mínimo conviene señalar 100 m a partir de los manantiales o zanjas de captación.

El detalle de la arqueta de toma ha de amoldarse a la manera de aflorar el manantial.

Tipologías de obras de captación en manantiales

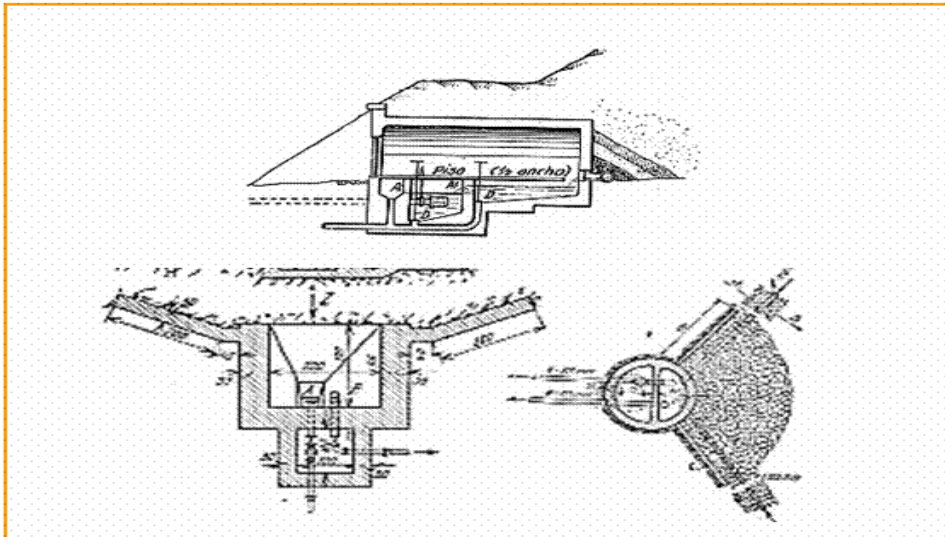
Manantial de ladera

Cuando la fuente de agua es un manantial de ladera, la arqueta se coloca cortando la vena líquida, disponiendo un relleno de grava antes de los orificios de entrada a la cámara para producir una ligera filtración.

A veces la vena líquida está sumamente extendida y hay que recurrir a concentrarla; para ello existen dos soluciones:

Muros laterales que corten la capa impermeable, de forma que concentren el agua.

Zanjas de avenimiento en la prolongación de los muros, si la dispersión es muy grande.



Ejemplos de obras de captación en manantiales de ladera. Fuente: Paz Maroto y Paz Casañé (1969), Abastecimiento y depuración de agua potable

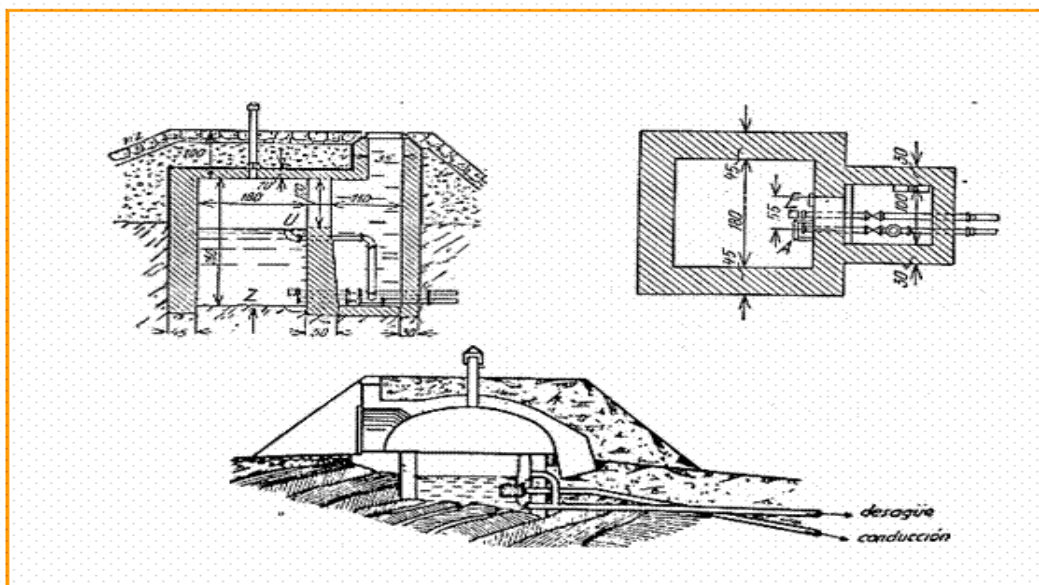
Una vez se han concentrado las aguas, la captación constará de tres partes:

- Protección del afloramiento.
- Depósito: sirve para regular el agua que va a utilizarse.
- Cámara de acceso: sirve para manipular las llaves de paso.

Manantial de fondo

Cuando la fuente de agua es un manantial de fondo o de emergencia, existen diversas soluciones:

- La arqueta más sencilla consiste en un arca de concreto sin fondo sobre el lugar del afloramiento. Sobre ella se recomienda instalar una capa de tierra para mantener la temperatura. En la misma arqueta van los dispositivos de toma, desagüe y aliviadero.
- Más aconsejable es la arqueta en la que se dispone una cámara de acceso, distinta de la de afloramiento de agua.



Ejemplos de obras de captación en manantiales de fondo. Fuente: Paz Maroto y Paz Casañé (1969), Abastecimiento y depuración de agua potable

La toma debe estar a la altura suficiente (unos 15 cm) para permitir el depósito de arenilla.

Debe disponerse un tubo de ventilación con campana a fin de que el agua esté oxigenada, pero no pueda entrar nada desde el exterior

8.3.3 Costes

Los costes aumentan rápidamente con el tamaño del proyecto (longitud de tubería y dimensiones de los tanques).

Si tratamos de dar el mismo nivel de servicio con pozos excavados o perforados, la solución resultará más cara que tomando el agua de ríos o manantiales.

Los costes de funcionamiento suelen ser bajos (inferiores a 1\$ US hab/año), requiriendo sólo mantenimiento regular con el cambio de grifos, la limpieza de los filtros, etc.

8.4 Agua de lluvia

8.4.1 Descripción estándar

Los sistemas de captación de agua de lluvia recogen agua desde el techo de una casa o otras áreas, con cunetas y bajantes (de madera, bambú, hierro galvanizado o PVC) que conducen a uno o más depósitos.

El agua arrastra impurezas, por lo que es preciso filtrarla para hacerla potable.

El sistema debe contar con un dispositivo para impedir que el agua de las primeras lluvias entre en el tanque, ya que esta agua contiene polvo, hojas e insectos.

Se puede extraer el agua del tanque con una bomba de mano o con un sistema de distribución hacia un punto de agua.

Captación de agua de lluvia: algunos cálculos

Capacidad del tanque de almacenamiento

La capacidad de almacenamiento necesaria depende de numerosos factores entre los cuales están:

- Demanda de agua y su variación estacional.
- Disponibilidad de otras fuentes de agua.
- Distancia, cantidad y calidad del agua.
- Características de la estación seca.
- Datos pluviométricos.
- Disponibilidad de la cuenca de captación.
- Tipo de captación y material de superficie/tejado usado.

Si se dispone de datos pluviométricos, el **método más adecuado** consiste en realizar un **estudio mensual de aportaciones y demandas** para determinar el volumen necesario del tanque de almacenamiento.

Si no existen datos pluviométricos mensuales fiables, se puede determinar el volumen del tanque suponiendo que el tanque estará lleno al principio de la estación seca, y que sólo cumplirá las necesidades de la estación seca.

Por otro lado, el **método más sencillo** para calcular el volumen de agua necesario durante la estación seca, es el siguiente:

$$V=(t \cdot n \cdot q)$$

- V = volumen del tanque.
- t = número de días en estación seca.
- n = número de usuarios del tanque.
- q = consumo medio total, o déficit por cabeza por día.
-

Para estar del lado de la seguridad, es recomendable aumentar el volumen del tanque en un 20%.

Superficie de captación

La captación por tejado necesaria se puede calcular suponiendo que la demanda de agua anual esperada está cubierta por el agua de lluvia. Si el consumo anual de agua de lluvia es $Q = n \times q \times 365$, la captación por tejado necesaria es:

$$A = Q / (Cr \cdot p)$$

- A = área de tejado necesaria
- Q = consumo anual total
- Cr = coeficiente de escorrentía
- p = precipitación anual

Coeficientes de escorrentía

	Valor
Tejado	
Chapa metálica	0.9
Teja de cemento	0.7
Teja de arcilla	0.4
Terreno	
Pavimentos de hormigón y bituminosos	0.70 a 0.95
Adoquinados	0.50 a 0.70
Zona arbolada y de bosque	0.10 a 0.20
Zona cultivada	0.20 a 0.40
Tierra sin vegetación	0.20 a 0.80
Zonas con vegetación densa	0.10 a 0.75

Coeficiente de escorrentía. Fuente: Elaboración propia

Captación de agua de lluvia en tejados y terreno

Captación en tejados

Prácticamente todos los tejados son aptos para la captación de agua de lluvia.

Habitualmente se emplean superficies de teja o chapa, ya que:

- Son muy sencillas de mantener.
- Proporcionan un agua muy limpia.

También se pueden emplear superficies de paja u hojas de palmera, pero tienen algunos inconvenientes:

- Son difíciles de limpiar.
- El agua puede quedar teñida por la materia en suspensión.

Se deben evitar las cubiertas de amianto o superficies de plomo, debido a los problemas sanitarios que conllevan.

El funcionamiento del sistema es el siguiente:

- El agua de lluvia se recoge en canalones colocados en los aleros del edificio, con una pendiente aproximada de 0,8%.
- Los canalones drenan a una bajante que lleva el agua hasta un tanque de almacenamiento.

Los canalones y bajantes deben estar diseñados para la escorrentía punta que, en zonas tropicales, puede ocurrir durante cortas tormentas de alta intensidad.



Captación de agua de lluvia en tejados. Fuente: ESF-INTERMON Etiopía (2003)

Terreno

La situación ideal es aquella en la que se cuenta con un afloramiento rocoso como área de captación. Esto garantiza un coeficiente de escorrentía elevado.

En efecto, si se restringe el acceso de la cuenca de captación a los animales y niños, la captación protegida puede recoger agua de alta calidad, siempre que las superficies sean limpiadas antes del almacenamiento.

La zona de captación debe estar vallada para prevenir la contaminación por excrementos animales. De todos modos, cuando se emplea agua de lluvia recogida en el terreno, es preferible no beberla y usarla para actividades de limpieza, horticultura, ganado, etc.



Captación de agua de lluvia en el terreno. Fuente: The Water Page

Algunos tanques de almacenamiento de agua de lluvia

Tipos de tanque disponibles

El almacenamiento de agua de lluvia se puede llevar a cabo por medio de distintos sistemas:

- Depósitos pequeños y baratos de uso doméstico que miden unos 2-3 m³.
- Tanques superficiales de hormigón o ferrocemento.
- Tanques enterrados de hormigón o ferrocemento.
- Tanques excavados en el terreno.

Cualquiera que sea el tipo de almacenamiento seleccionado, se deben instalar vallas apropiadas para prevenir cualquiera contaminación potencial.

Una cubierta hermética debe asegurar condiciones oscuras de almacenamiento a fin de prevenir la formación de algas y reproducción de mosquitos. De no ser así, no es adecuado destinar el agua a consumo humano.

Las instalaciones subterráneas de almacenamiento tienen la ventaja de mantenerse frescas, y de no padecer la pérdida de agua por evaporación.

Si se cumplen condiciones de estabilidad en el terreno, los tanques enterrados son sustancialmente más baratos que los tanques superficiales.

También se puede ahorrar tiempo y dinero si el depósito está directamente moldeado en el suelo, compactando simplemente el terreno.



**Tanque de almacenamiento de agua excavado en el terreno. Fuente: ESF-INTERMON
Etiopía (2003)**



Tanque de almacenamiento de agua moldeado en el terreno. Fuente: ESF-INTERMON
Etiopía (2003)

Materiales

Los tanques pueden estar contruidos de diversos materiales. Los más comunes son:

- **Metálicos.** Tienen problemas de corrosión a los 3-5 años si no se limpian al final de cada estación. Se deben traer de fuera, por lo que no hay contribución de la comunidad.
- **Plásticos.** Su coste es elevado, pero resuelven el problema de la corrosión. Es necesario asegurar que sean adecuados a la zona de intervención. Se deben traer de fuera, por lo que no hay contribución de la comunidad.
- **Mampostería.** Muy habitual en tanques de dimensiones medias (25-75 m³).
- **Hormigón.** Muy habitual en tanques de dimensiones elevadas (50-150 m³).
- **Ferrocemento.** Se emplean cada vez más por ser muy económicos. Suelen medir entre 1 y 5 m³, y pueden llegar a alcanzar los 100 m³. La construcción y posteriores trabajos de reparación son muy sencillos. Aunque el cemento proviene del exterior, la mano de obra es local y beneficia a la economía del pueblo.



Tanque de almacenamiento de agua de lluvia de plástico. Fuente: ESF El Salvador
(2002)



Tanque de almacenamiento de agua de lluvia en ferrocemento. Fuente: ESF-INTERMON
Etiopía (2003)

8.4.2 Situaciones de aplicación

Los sistemas de captación de agua de lluvia son adecuados en los siguientes casos:

- Inexistencia de agua superficial, o agua subterránea muy profunda o inaccesible debido a una formación geológica dura.
- Agua salada, ácida o no potable.

Si escasea el agua proveniente de manantiales o pozos, el agua de lluvia puede ser una fuente suplementaria para alcanzar la demanda mínima. En estos casos, el agua de lluvia no debe usarse para beber.

Siempre resulta adecuado implementar un sistema de captación de agua de lluvia en centros sanitarios, escuelas, iglesias, etc.

8.4.3 Coste

El tanque es el elemento más caro de un proyecto de captación de agua de lluvia. Suele representar el 90% del coste total.

8.5 Pozos superficiales y profundos

Los pozos empleados en la captación de aguas pueden clasificarse según:

- Magnitud: **superficiales u ordinarios**, con una profundidad relativamente pequeña, y **profundos**, con una profundidad importante y, por tanto, más difíciles de construir.

- Entrada de agua: **permeables**, con entrada de agua por los laterales, y **de pie**, con entrada de agua únicamente por el fondo.
- Revestimiento: de **fábrica, metálicos y especiales**, según el material del que estén recubiertas sus paredes interiores.

En función de las características del terreno atravesado, será necesario uno u otro tipo de revestimiento, así como fijar un valor para el diámetro del pozo

8.5.1 Pozos superficiales

Los pozos superficiales o excavados consisten simplemente en la excavación de un agujero en el terreno hasta sobrepasar el nivel del agua.

Pueden resultar bastante satisfactorios si las condiciones son buenas.

Habitualmente, no se requieren equipos o aptitudes especiales para su construcción. Sin embargo, si se encuentra estrato duro, o se requiere un gran drenaje, se podrá precisar máquinas y aptitudes apropiadas.

Gracias a su diámetro ancho y volumen grande, los pozos excavados permiten a la vez extraer y almacenar agua subterránea.

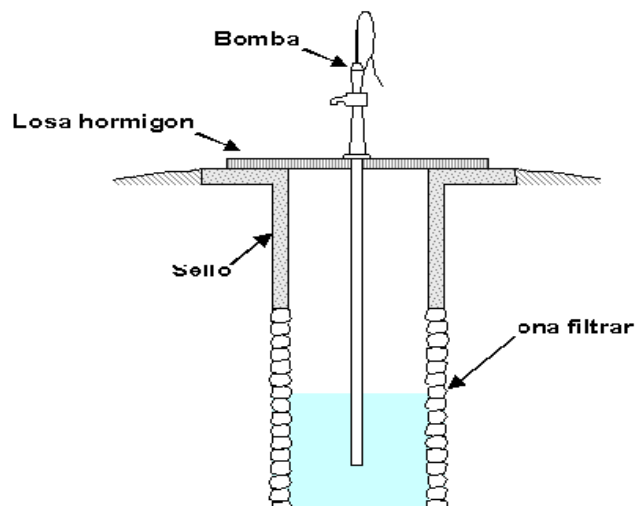
El almacenamiento resulta muy importante, sobre todo cuando los usuarios sacan agua con caudales máximos durante algunas horas por la mañana y la tarde. También, en caso de que se estropee la bomba, los usuarios podrán seguir sacando agua mediante el registro.

Pozos superficiales. Características técnicas

Descripción básica

Cada pozo excavado es distinto de los demás, pero en general todos ellos constan de los siguientes elementos:

- Revestimiento de mampostería, hormigón o ladrillos con orificios libres bajo el nivel freático para dejar entrar el agua.
- Sellado de arcilla o de hormigón en la parte superior para prevenir la contaminación.
- Filtro de grava para mejorar el caudal de agua entrante.
- Losa de hormigón superior con un registro, un orificio para el bombeo de manera que el agua sea drenada correctamente.



Esquema de pozo excavado. Fuente: Adaptación propia

Requerimientos de diseño

Se deberán recoger datos hidrogeológicos sobre el área de estudio, por ejemplo:

- Mapas e informes geológicos.
- Mapas topográficos.
- Registro de pozos excavados y perforados.
- Reconocimiento geológico de la superficie.
- Documentos meteorológicos .
- Datos hidrológicos.

Habitualmente, sólo será necesario un estudio general que permita a un experimentado hidrogeólogo definir el lugar más adecuado para realizar la excavación. Este estudio deberá realizarse preferiblemente al fin de la estación seca.

Es importante tener en cuenta los conocimientos de la población local, hombres y mujeres, sobre la historia de las fuentes de agua, su calidad y su uso.

Pozos superficiales. Puntos críticos

Problemas frecuentes

- Hundimiento del pozo en el proceso de excavación. (deben usarse anillos de hormigón en cuanto se detecten problemas de inestabilidad).
- Hundimiento debido a un revestimiento incorrecto.
- Bajo caudal de agua debido a un revestimiento inadecuado.
- Entrada de partículas del suelo debida a un mal revestimiento.
- Contaminación del agua debido a una plataforma superior inadecuada, mal construida o mal mantenida.

Restricciones

- Sensibilidad alta a las variaciones del nivel freático.
- La situación de un pozo excavado no es flexible. Puede estar lejos de los usuarios o en un lugar de difícil acceso.
- Los pozos excavados no deberían ubicarse cerca de letrinas o ganado. La distancia habitualmente recomendada es 50 metros, aunque eso no garantiza que no haya contaminación.
- Largas colas (5 minutos/familia, recogiendo 4 bidones de 25 litros), lo que limita el número de beneficiarios. Se puede recomendar excavar más pozos.

8.5.2 Pozos profundos

Los pozos perforados permiten alcanzar aguas subterráneas más profundas.

Se diferencian de los pozos excavados por el pequeño diámetro, que oscila generalmente entre 0,10 m y 0,25 m para el entubado, lo que no posibilita que una persona entre para limpiarlo.

Se construyen esencialmente con maquinaria pesada, aunque a veces se pueden ejecutar con equipos manuales.

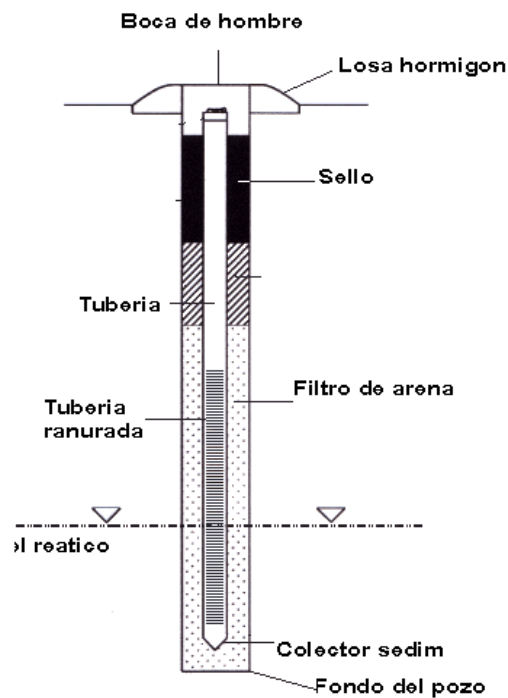
Uno de sus inconvenientes es que no tienen capacidad de almacenamiento. Por ello, muy a menudo se instala una bomba motorizada para bombear a lo largo del día y almacenar el agua en un depósito.

Pozos profundos. Características técnicas

Descripción básica

Cada pozo perforado o profundo es distinto de los demás, pero en general todos ellos constan de tres partes principales:

- Una **losa de hormigón** a nivel de superficie; cuenta con un conducto de salida de agua conforme al método de extracción. Esta losa cumple las siguientes funciones:
 - Evita que el agua superficial se filtre por las paredes del pozo.
 - Proporciona una fijación firme al terreno.
 - Conduce las aguas residuales fuera del pozo hacia un canal de drenaje.
- En la zona entre la superficie y el nivel del agua, el **revestimiento** suele disponer de una **tubería** (por lo general de PVC y a veces de hierro galvanizado) para prevenir el hundimiento, sobre todo en formaciones no consolidadas. En formaciones consolidadas, puede que el revestimiento no sea necesario.
- Bajo el nivel freático, la **tubería ranurada** posibilita la entrada del agua subterránea en el pozo. Un **filtro de grava** alrededor de ésta favorece el movimiento del agua hacia los tubos ranurados y evita la entrada de materia no deseada al pozo. En formaciones consolidadas, puede que este filtro de grava no sea necesario.



Esquema de pozo perforado. Fuente: Adaptación a partir de Internet

Requerimientos de diseño

Generalmente, se requiere de un estudio hidrogeológico para garantizar la existencia de agua en estratos inferiores. Si las conclusiones del estudio revelan que el nivel freático es bajo, habrá que organizar sondeos geofísicos.

Los pozos perforados se pueden equipar tanto con bombas manuales como motorizadas, o incluso conectarlos a una red de distribución.

En caso de instalar una bomba manual, es importante recordar que debe diseñarse para que no pueda usarla el ganado.

Pozos profundos. Técnicas de perforación

Para construir estos pozos existen los siguientes métodos de perforación:

- **Barrenado** o taladrado: hincando barras helicoidales en el terreno a las que se hace girar.
- **Por percusión:** dejando caer dentro del hoyo barras pesadas que impactan en el terreno, machacándolo y hundiéndolo.
- **Por clavado:** incrustando en el terreno una punta porosa que se abandona y que será la futura toma de agua del pozo.
- **Por inyección:** en terrenos pocos cohesivos o sueltos, se puede inyectar en el fondo agua a presión, que saldrá por la boca del pozo arrastrando el material en suspensión.

En la mayoría de los métodos de perforación se utiliza un revestimiento metálico durante la operación. Éste tiene como objeto sostener las paredes.

Cuando la excavación se termina, se retira el revestimiento provisional y se introduce uno que sea poroso en aquellas capas del acuífero donde se pretenda la entrada de agua.

A continuación se muestra una tabla con indicaciones generales sobre los métodos de construcción de pozos más adecuados a cada formación.

Método	Profundidad máxima (m)	Diámetro (cm)	Formación geológica	
			Adecuada	No adecuada
Manual	25-30 (excepcional .50)	120-200	Arcilla; limo; arena; grava; arenisca blanda; caliza fracturada	Roca ígnea
Perforación con trépano	25-35	10-40	Yeso; grava, arenisca blanda; caliza fracturada; formaciones aluviales	Roca ígnea
Perforación a percusión	300	10-60	Arcilla; limo; arena; grava; grava cementada; roca grande (en estratificación firme); arenisca; caliza; y roca ígnea	Ninguna
Rotación con circulación de fluido	250	10-60	Arcilla; limo; arena; grava; grava cementada; arenisca; caliza; y roca ígnea	Problemas con roca grande
Perforación con martillo de fondo	250	10-50	Particularmente adecuado para dolomita, basalto y rocas metamórficas	Arena suelta, grava, arcilla, limo, arenisca

Aplicabilidad de los métodos de construcción de pozos. Fuente: Elaboración propia

Pozos profundos. Puntos críticos

Problemas frecuentes

- Mala calidad del agua debido a la corrosión del revestimiento de hierro galvanizado.
- Hundimiento del revestimiento causado por la corrosión del revestimiento de hierro galvanizado.
- Caudal de agua limitado por un desarrollo inadecuado del pozo.
- Entrada de partículas en el pozo debido a filtros inapropiados o desarrollo inadecuado.
- Contaminación del agua motivada por una plataforma superior inadecuada, mal construida o mal mantenida.

Restricciones

- La situación de un pozo perforado no es flexible. Puede estar lejos de los usuarios o colocado en un lugar de difícil acceso.
- Los pozos perforados no deberían ubicarse cerca de letrinas o ganado. La distancia habitualmente recomendada es 50 metros, aunque eso no garantiza que no haya contaminación.
- La inversión necesaria para la construcción de un pozo profundo puede superar la capacidad de la comunidad.
- Puede ser muy difícil transportar la maquinaria pesada y los materiales necesarios hasta el sitio de perforación. Normalmente, la comunidad se encarga de mejorar el acceso.
- Si se instala una bomba de mano, el sistema llevará largas colas (5 minutos/hogar, recogiendo 4 bidones de 25 litros). Eso limita el número de beneficiarios. Se puede recomendar instalar una bomba motorizada para aumentar el número de éstos.

8.5.3 Comparativa

La siguiente tabla resume las características generales de cada tipología de pozos:

	Pozo profundo	Pozo excavado
Características		
Diámetro	12,5 cm -25 cm	100 cm – 150 cm
Profundidad	40 m – 200 m	5 m – 50 m
Servicio		
Capacidad en horas punta	Baja: sin almacenamiento	Alta: almacenamiento
Calidad del agua	Buena	Cuestionable: posible contaminación
Ejecución		
Seguridad	Buena	Peligro de desmoronamiento
Limitación época	Ninguna	Nivel freático bajo
Aporte mano de obra local	Mínima	Considerable
Equipo necesario	Sofisticado: maquinaria pesada	Sencillo: pala, cuerdas, etc

Comparativa entre pozo excavados y pozos perforados. Fuente: Elaboración propia

9. Abastecimiento de agua en comunidades en desarrollo: Transporte y distribución

9.1 Función de las redes de transporte y distribución

No todas las poblaciones disponen de manantiales o pozos cercanos en condiciones sanitarias adecuadas para el consumo humano. Por ello se hace necesario transportar y distribuir el agua.

La efectividad de las redes de transporte y distribución de agua descansa sobre el funcionamiento correcto de todos los demás elementos del sistema de abastecimiento (captación, transporte, tratamiento, regulación y distribución).

9.2 Transporte

El transporte desde el punto de captación hasta el punto de consumo se puede realizar:

- A presión, mediante tuberías y bombeo.
- En lámina libre, mediante un canal.

La decisión entre las dos opciones de transporte viene absolutamente condicionada por la topografía de la zona.

Por ejemplo, si la captación se produce a una cota superior de la población que consumirá esa agua, es posible realizar un canal que la almacene en un depósito cercano a dicha población.

Por el contrario, si la captación se encuentra a cota inferior o el terreno es muy accidentado, resulta imposible realizar un canal y es más barato instalar una bomba y una tubería de impelencia.

De todos modos, por **motivos sanitarios evidentes**, es mucho **más frecuente el sistema de impelencia con tubería** que el transporte mediante un canal, siendo estos últimos más utilizados en las obras de regadío.

9.3 Distribución

Se entiende por red de distribución aquella red de tuberías a baja presión que conecta habitualmente el depósito de la comunidad y los puntos de consumo.

En las redes de distribución se intenta encontrar el punto de equilibrio entre **nivel de servicio** e **inversión necesaria** por distintos caminos:

- Instalando elementos que faciliten la gestión posterior (contadores, válvulas de paso).
- Obviando en algunos casos los diseños más caros, aunque con mejor servicio (selección de redes arborescentes frente a soluciones malladas).

Los mayores problemas de gestión de los sistemas de abastecimiento de agua se suelen dar en las redes de distribución. Estos problemas están relacionados, entre otras cosas, con aspectos como:

- Gestión del cobro de la cuota de agua.
- Diseño adecuado de los puntos de consumo de agua (agua estancada, lavaderos insuficientes, grifos con pérdidas, etc.).

9.3 Gravedad

9.3.1 Descripción

Los sistemas por gravedad se basan en la utilización de la energía gravitatoria para el transporte del agua entre el punto de captación y el punto de consumo.

La situación óptima de estos sistemas es aquella en la que la captación se encuentra a una cota superior a la de la comunidad.

En caso de contar con un presupuesto reducido y respetarse las condiciones de distancia mínima al punto de consumo de agua (15 min. andando), también puede adoptarse esta solución si la comunidad se encuentra por encima de la captación.

9.3.2 Componentes del sistema

Habitualmente, un sistema por gravedad cuenta con los siguientes elementos:

- Captación.
- Tubería.
- Depósito.
- Tanque rompedor de presión.
- Tuberías de distribución.
- Puntos de consumo: domiciliario o público.

9.3.3 Mayor sostenibilidad

Los sistemas de transporte y distribución por gravedad son soluciones muy buenas desde el punto de vista de la sostenibilidad, puesto que:

- Requieren de poco mantenimiento.
- Los elementos del sistema son sencillos.
- Cualquier problema se detecta rápidamente.

9.3.4 Costes y nivel de servicio

Estos sistemas suelen requerir una inversión inicial superior a los pozos superficiales, aunque el nivel de servicio es también muy superior.

Esto es debido principalmente al coste de las tuberías y al coste de los depósitos de almacenamiento.

Los costes de operación son habitualmente bajos debido a que no se requiere de fuentes de energía externas.

La fiabilidad es en general alta y, por lo tanto, el nivel del servicio proporcionado es bueno.

9.4 Bombeo

9.4.1 Tipologías básicas

Las más sencillas son las **bombas manuales** entre las que destacan las bombas Afridev, Indian Mark, Mecate, bomba de pie, etc. Las principales ventajas de las bombas de mano más desarrolladas son:

- Profundidades hasta 70-80 m (según la tipología).
- Caudales pequeños: adecuadas para pequeños núcleos de gente.
- No necesitan carburante o electricidad para funcionar.
- Coste bajo.
- Capacidad de bombeo suficiente y adecuada a las necesidades de la comunidad.
- Fáciles de mantener y reparar.
- Adaptable a otras fuentes de energía (animales, viento...).

De acuerdo con las recomendaciones de la OMS, el número máximo de usuarios por bomba será de 250.

Por otro lado, las **bombas no manuales** agrupan bombas helicoidales, centrífugas, sumergibles, etc. Sus ámbitos de aplicación más adecuados son:

- Pozos con una profundidad superior a 70-80 m.
- Sistema con un manantial ubicado bajo el nivel de la comunidad y un tanque de almacenamiento.
- Necesidad de un caudal más importante que el proporcionado por una bomba manual.
- Comunidades que se puedan permitir los costes de operación, mantenimiento y amortización

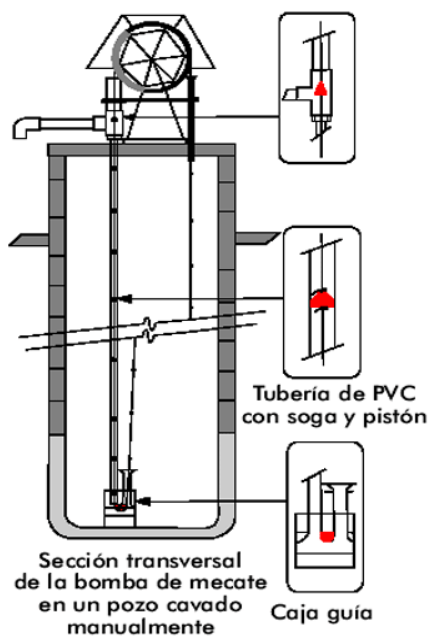
Los fabricantes de este tipo de bombas facilitan los rangos de aplicación (caudales y alturas de impulsión) a modo de tablas o esquemas. Estos rangos deberán ser comparados con las necesidades de nuestra actuación para poder elegir la mejor solución.

Algunas bombas manuales

Bomba de Mecate

Composición y funcionamiento

La composición básica de este tipo de bomba se puede observar en la siguiente figura:



Bomba de mecate: diagrama general. Fuente: Programa de Agua y Saneamiento

(<http://www.wsp.org/>)

La rotación de la **manivela** estira la cuerda y los pistones. Cada pistón, fijado con nudos, lleva el agua desde el fondo del pozo y la vacía en el conducto de salida situado en la parte superior.

Los **pistones** son la parte más sensible de la bomba porque deben adaptarse muy bien a la tubería para prevenir las pérdidas de agua. Deberán tener preferiblemente forma de cono y ser de polietileno, pero en algunos casos pueden ser de caucho.

La **rueda** se fabrica con neumáticos de camión o bicicleta. La **caja guía** situada al fondo del pozo conduce la cuerda en la tubería de bombeo. La **tubería de bombeo** varía según la profundidad del pozo. Cuanto más profundo es el pozo, menor es su diámetro.

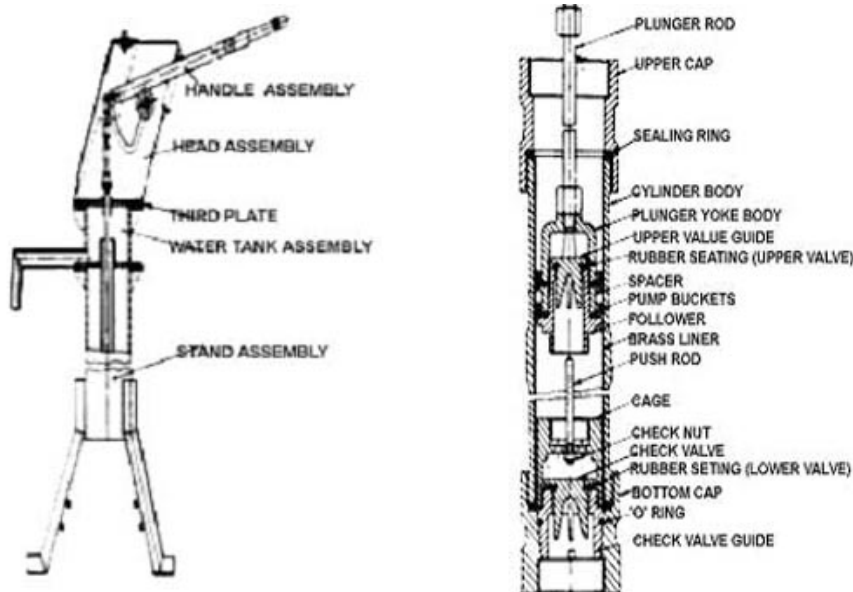
Aspectos funcionales

- Aplicable hasta los 40 m.
- Su capacidad de bombeo varía según la profundidad entre 0,7 y 0,1 l/s.
- Adaptada de forma excelente a **VLOM**.
- Mantenimiento frecuente, reparable por los usuarios con el material disponible.
- Contaminación potencial al descuidar los usuarios habitualmente dejarlo cubierto.
- Coste aproximado: 70 y 150 US\$. La bomba de Mecate usada en pozos perforados tiene elementos adicionales, por lo tanto es un poco más cara.
- Coste de mantenimiento aproximado: 10 dólares al año.
- Instalación muy barata: dos personas pueden montarla en dos horas.

Indian Mark

Composición y funcionamiento

El modelo Indian Mark II resultó ser el más adecuado bajo el proyecto del PNUD por el que se realizaron experimentos extensivos con doce bombas de mano para pozos profundos en todo el mundo. Los parámetros incluían: facilidad de mantenimiento, instalación y uso, eficiencia mecánica y volumétrica, frecuencia de averías y mantenimiento necesario, aceptabilidad del usuario y resistencia a la corrosión.



Bomba manual Indian Mark (Indian Mark III). Fuente: Internet

El modelo **Indian Mark II** consiste en un cilindro de acero con dos tapones, y un sistema de operación con pistón, separador, válvula superior y válvula de control. Cuando se mueve la manivela hacia arriba, el pistón empieza a bajar por dentro del cilindro, la válvula de control se cierra y empuja el agua hacia arriba, abriendo la válvula superior.

El modelo **Indian Mark III** es una versión mejorada y **VLOM** del modelo Indian Mark II. Las diferencias principales son que la tubería tiene 65mm de diámetro y que el ensamblaje del cilindro permite desmontar el pistón con mayor facilidad al no tener que desmontar toda la bomba. Permite, pues, mayor caudal y mejor mantenimiento.

El modelo **Indian Mark V** de denominación **VLOM** incorpora los últimos desarrollos de la tecnología de las bombas de mano. Está protegida **contra la corrosión** gracias a los materiales que la componen.

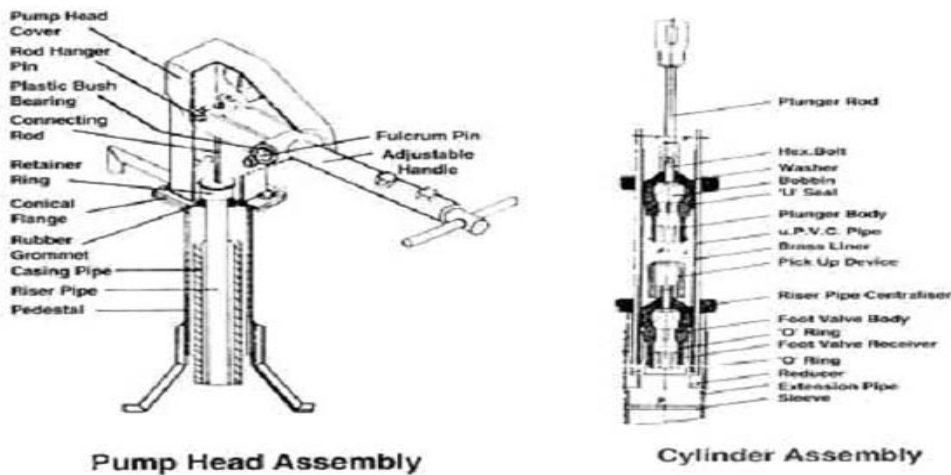
Aspectos funcionales

- Adecuadas para profundidades de 15 m a 50 m (II, III).
- Facilidad de instalación y mantenimiento barato para la comunidad.
- Adecuación a requisitos **VLOM** (III, V).
- El diseño del cilindro con la parte superior abierta permite la extracción del pistón y de la válvula de pie sin remover el cilindro y el conducto de elevación (III, V).

Afridev

Composición y funcionamiento

La bomba manual tipo Afridev surgió de experimentos de terreno en Africa del Este. También tiene la denominación VL0M.



Bomba tipo Afridev: diagrama general. Fuente: Internet

Aspectos funcionales

- Son adecuadas para profundidades de 10 m a 45 m.
- A 20 m tienen un caudal de 0,4 l/s, que baja a 0,3 l/s en pozos más profundos (50 golpes/min.).
- El concepto de la bomba es VL0M.
- El diseño del cilindro con la parte superior abierta permite la extracción del pistón y de la válvula de pie sin desmontar ni el cilindro ni la tubería.

Comparación

El cuadro siguiente recoge los caudales y profundidades de aplicación de los distintos tipos de bombas manuales:

Tipo de bomba	Profundidad (Metros)	Caudal
Mark II	15-50	0,2-0,25 l/s
Mark III	15-50	0,2 l/s
Mark V	15-90	0,25-0,3 l/s
Afridev	10-45	0,3-0,4 l/s
Bomba de mecate	0-50	0,7-0,2 l/s

Algunas bombas no manuales

Bombas de rotor helicoidal

Composición y funcionamiento

Consisten en un rotor helicoidal de rosca simple colocado dentro de un manguito helicoidal de rosca doble. Las superficies helicoidales empujan el agua hacia arriba creando un flujo uniforme.



Bomba de rotor helicoidal (Tigray – Etiopía). Fuente: Manual de Criterios Técnicos para Proyectos de Agua en Etiopía. INTERMON - ESF

Aspectos funcionales

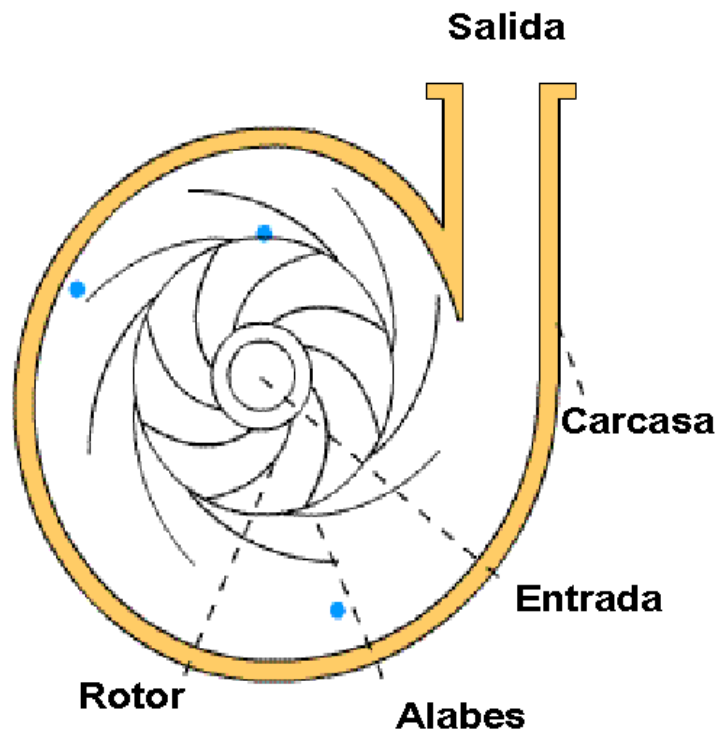
- Caudal proporcional a la velocidad de rotación.
- Coste económico elevado.
- Robustas.

Bombas centrífugas

Composición y funcionamiento

Los principales componentes de una bomba centrífuga son el tambor y la carcasa.

El tambor es un disco con álabes que giran del centro hacia el exterior. Éste, al girar a una velocidad suficientemente alta, produce el flujo ascendente gracias a la fuerza centrífuga. El agua es lanzada hacia el conducto de salida creando una succión que fuerza la entrada de más agua.



Bomba centrífuga. Fuente: Adaptación de Anthony R Rayner/Shirley Cook
(<http://www.lingolex.com/bilc/enginesp.html>)

Aspectos funcionales

- Si la altura de elevación necesaria es mayor que la capacidad de una bomba, se pueden conectar varias en serie (bomba multi-etapa).
- La eficiencia de bombeo tiende a mejorar cuando aumenta la velocidad de rotación.
- Una velocidad de rotación alta puede implicar un mantenimiento más frecuentes.

Ariete hidráulico

Composición y funcionamiento

Esta bomba es una de las grandes desconocidas en el Norte. Funciona gracias a la energía de flujo de agua cayendo desde cierta altura. El mecanismo de funcionamiento es el siguiente:

- El agua se escapa a través de una válvula de impulso abierta.
- Cuando el flujo a través de la válvula de impulso es suficientemente rápido, ésta se cierra bruscamente.
- El agua en movimiento se detiene, produciendo una sobrepresión en la tubería.
- Debido a la sobrepresión, el agua es forzada a pasar por la válvula de retención.
- La cámara de aire sirve para regular la salida de agua, ya que absorbe parte de la sobrepresión.
- Cuando la sobrepresión se agota completamente, una pequeña succión creada por el caudal de agua, junto con el peso del agua en la tubería, cierra la válvula de retención y evita que el agua retorne a la cámara de la bomba.
- Se abre entonces la válvula de impulso, el agua empieza a escaparse y empieza un nuevo ciclo.



Bombas de golpe de ariete conectadas en paralelo (Rift Valley – Etiopía). Fuente: Manual de Criterios Técnicos para Proyectos de Agua en Etiopía. INTERMON - ESF

Aspectos funcionales

- No requiere de ninguna fuente de energía exterior.
- Sólo son adecuadas para ríos o fuentes de agua muy importantes (no se pueden usar para bombear desde pozos o manantiales con un caudal débil).
- Para su funcionamiento, es necesaria una fuente de agua estable y fiable con una caída de al menos 2 metros.
- Una vez ajustada la válvula de impulso, la bomba de golpe de ariete no necesita más atención.
- De vez en cuando es necesario desmontar la bomba para limpiarla.
- La mayoría de las bombas de golpe de ariete funcionan al punto óptimo de su eficiencia cuando la altura de agua de entrada es una tercera parte de la altura de bombeo.

Las bombas motorizadas son más caras y requieren un personal cualificado, pero proporcionan un servicio mejor.

Las aplicaciones más habituales en los sistemas de abastecimiento de agua son:

- Bombeo de agua desde pozos excavados o perforados. Bombas manuales o no manuales.
- Bombeo de agua desde manantiales situados debajo de la comunidad (desde un tanque de captación o de bombeo) hacia depósitos y un sistema de distribución. Sólo bombas no manuales.

9.4.2 La energía

Siempre que se piensa en instalar una bomba, es necesario pensar en la energía que la va a mover. Hay distintas alternativas, entre las que hay que elegir según la ubicación del proyecto y la disponibilidad :

- Humana
- Diesel
- Eólica
- Fotovoltaica

Energía y bombas

Motores diesel

Los motores diesel tienen la ventaja de poder funcionar en lugares remotos. El principal requisito es el abastecimiento de fuel y lubricantes. El consumo de diesel depende de la potencia y el mantenimiento de la bomba; una bomba de 10 HP suele consumir alrededor de 1l/hora.

Los motores diesel, debido a su capacidad de funcionar con independencia del suministro eléctrico, son especialmente adecuados para zonas no cubiertas por la red eléctrica.

El motor se debe conectar mediante un engranaje u otro sistema de transmisión a la bomba.

Algunas recomendaciones

- Elegir un motor con un 25 – 30 % más de potencia que la necesaria, por si ha de funcionar en situaciones extremas.
- Seleccionar correctamente el motor para evitar paradas durante el funcionamiento debido a la potencia extrema de bombeo.

Motores eléctricos

Los motores eléctricos requieren generalmente menos mantenimiento y son más fiables que los diesel. Por lo tanto, es preferible usar este tipo siempre que haya un suministro de electricidad adecuado. Si la potencia requerida para la bomba es superior a la capacidad admisible del motor eléctrico, éste puede incendiarse. También se debe prestar atención al voltaje existente en la zona.

A veces, se utilizan motores comunes sin prestar atención a las características de la bomba.

Energía solar fotovoltaica

En los sistemas de bombeo fotovoltaico, la bomba funciona siempre que haya sol; pero deja de funcionar si no lo hay.

Los sistemas de bombeo a través de la energía solar son una opción para zonas remotas con una insolación alta.

Pueden bombear agua hasta profundidades de 100 – 200 m, pero el sistema más eficiente económicamente es aquel que bombea hasta unos 50 m

La inversión es alta, pero los costes de operación y mantenimiento son bastante bajos.

Se debe asegurar la adecuación de la intervención en cuanto a disponibilidad de repuestos y "know-how" en la zona.

Energía eólica

El uso de la energía eólica para bombear es posible cuando:

- Haya vientos con una velocidad mínima de 2.5-3 m/s durante el 60% del tiempo.
- El agua pueda ser bombeada de forma continua sin que eso provoque grandes bajadas del nivel freático.
- Exista un tanque que garantice el abastecimiento en periodos sin viento, al menos con una capacidad de 3 días
- El molino tenga una altura de 4.5 - 6 m, a ser posible.

Normalmente se emplea esta energía con bombas recíprocas de pistón conectando el eje de la bomba con el del molino de viento. En periodos de calma se pueden desconectar ambos artilugios y se bombea manualmente.

También están equipados con un sistema que permite desconectar la rueda del molino si los vientos son tan fuertes que pueden deteriorar el sistema, por ejemplo vientos superiores a 13-15 m/s.

A pesar de que haya que importar las aspas del molino, la torre se puede construir con materiales locales.

9.4.3 Criterios de selección

Los criterios básicos para determinar qué bomba es la más adecuada en cada situación son:

- Caudal requerido.
- Distancia vertical entre el nivel de bombeo y de distribución.
- Distancia horizontal entre el punto de bombeo y de distribución.
- Variaciones esperadas en los niveles de agua de la fuente.
- Durabilidad de los componentes básicos (incluyendo resistencia a la corrosión).
- Disponibilidad y coste de los repuestos.
- Facilidad de operación y mantenimiento; adaptación a los criterios **VLQM**.
- Criterios institucionales y comunitarios: contribución de la comunidad en la selección de la tecnología, ubicación de la bomba, selección del guarda y de la cuota del agua.

Muy a menudo, se sobrevaloran las capacidades técnicas de los usuarios, lo que influye en un mantenimiento incorrecto de las bombas.

Las soluciones tecnológicas para el bombeo son muchas y diversas; por eso aquí se presentan sólo las soluciones básicas. El ingeniero encargado del proyecto deberá adaptarlas, modificarlas o combinarlas según sea necesario.

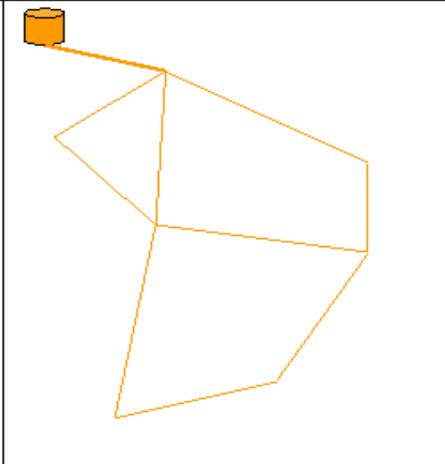
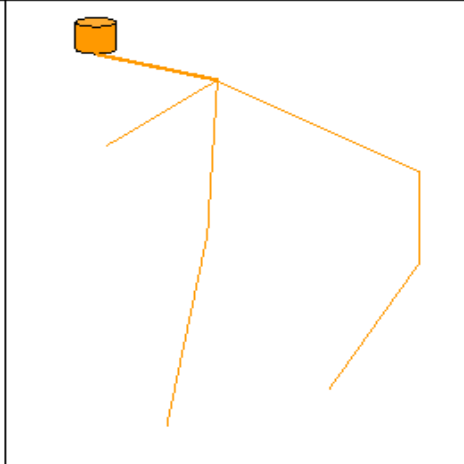
9.5 Redes de distribución a presión

9.5.1 Tipos de redes

Las redes de distribución de agua potable se pueden dividir, en función de la morfología de las mismas, en dos grandes tipos:

- Redes arborescentes: sin ningún circuito cerrado o, dicho de otro modo, donde el agua tan sólo puede circular en un único sentido.
- Redes malladas: con circuitos cerrados o, dicho de otro modo, donde el agua puede realizar como mínimo dos trayectos distintos para servir cada punto de consumo.

La siguiente tabla muestra las ventajas y desventajas de cada tipo de red:

	Redes malladas	Redes arborescentes
Esquema		
Coste	Elevado	Reducido
Servicio	Muy bueno. En caso de avería, poca población queda afectada.	Malo. En caso de avería, mucha población queda afectada
Ámbito de aplicación	Urbano	Rural

Comparación entre redes arborescentes y malladas. Fuente: Elaboración propia

9.5.2 Proceso de diseño

Para llevar a cabo el diseño de una red de distribución es necesario realizar los siguientes pasos:

- Abstracción de la red.
- Determinación de los caudales de diseño.
- Estimación de diámetros de las tuberías.
- Comprobación de presiones y velocidades en la red.
- Calcular de nuevo, en caso de no verificarse el último paso.

Abstracción de redes de abastecimiento de agua

A efectos de cálculo, la red de abastecimiento se representa mediante un conjunto de **puntos o nodos** conectados mediante **cuerdas o arcos**, que representan en este caso los tramos de tubería.

Debe tenerse claro que, en el momento de realizar los cálculos, se utilizarán las siguientes hipótesis:

- Únicamente se admite entrada o salida de agua en la red a través de los nodos.
- El arco que une dos nodos representa un único tipo de tubería. Por ello no se puede variar la sección de la misma. (Si se quisiera variar, se debería introducir un nuevo nodo, de forma que no se tuviera ya una cuerda y dos nodos, sino dos cuerdas y tres nodos).

Normalmente se suele abstraer la red a partir de los tramos más importantes y concentrando ciertos consumos en un mismo nodo, de forma que se reduzca el número de nodos y tramos; aunque nada impide realizar los cálculos con toda la información si se quiere.

Determinación de los caudales de diseño

Justificación

La red de abastecimiento no funciona siempre en el mismo régimen. Por ello para diseñar la infraestructura se requiere de los denominados caudales de diseño.

Una vez abstraída la red real y obtenida su representación esquemática, se pasa a determinar los caudales demandados en cada uno de los nudos de la red.

Debe tenerse claro qué consumos afectan a qué nodo; es decir, en el momento de la abstracción es bueno realizar un pequeño mapa de viviendas o industrias afectadas por cada uno de los nodos de la abstracción. Así se evita olvidar o, por el contrario, duplicar consumos con el consiguiente error de diseño.

El caudal de diseño agrupa las demandas de las viviendas, las industrias y otros usos, como por ejemplo el riego o el aprovechamiento para proyectos productivos agrícolas, etc.

Consumo humano

La fórmula más comúnmente utilizada es la siguiente:

$$Q \text{ (l/s)} = K_p \cdot D \cdot P / 86400$$

Donde,

- K_p = coeficiente de simultaneidad, depende de la población servida en total, no la servida por ese nodo; adimensional.
- D = dotación media diaria, l/hab. día
- P = población servida por ese nodo (teniendo en cuenta el crecimiento de dicha población en el periodo de vida útil de la obra; normalmente 20 años), hab.
- El valor 86.400 resulta de la transformación de días en segundos.

El valor del coeficiente de simultaneidad puede extraerse de la siguiente tabla:

Población (1000 hab.)	K_p
1	2,6
3	2,3
5	2,2
10	2
20	1,85
50	1,7
100	1,6
300	1,5
500	1,45

Se observa cómo el consumo se reduce a medida que aumenta la población. Su significado es claro: es mucho más difícil que todo el mundo este consumiendo a la vez en una población con 500.000 habitantes que en una con 1.000.

Consumo industrial

Cada tipo de industria tiene un consumo distinto de agua; estos son algunos de ellos:

Servicio industrial	Litros
Destilería. Por cada hectolitro de alcohol	4.000
Azucarera. Por cada kg de azúcar	100
Matadero. Por cabeza de animal. Sin incluir frigoríficos.	1.000
Fábrica de papel. Por cada kg de papel	1.500 a 3.000
Carnicerías. Por día	600
Depósitos frigoríficos. Por cada Tm•día de productos	400
Curtidos. Por cada Tm de producto fabricado	10.000

Central lechera. Por litro de leche	8
Fábrica de paños. Por cada kg de lana terminada	165

A partir de esta tabla se pueden extraer los consumos en l/s. Para ello tan sólo es necesario transformar las unidades de medida, tener en cuenta las horas reales de trabajo diario, etc.

Otros consumos

Consumos de agua no considerados anteriormente, habitualmente de carácter agrícola.

Presiones y velocidades en redes de distribución

Presiones admisibles

Se establecen las siguientes limitaciones a las presiones en la red:

Presión máxima

La limitación de presión máxima viene fijada por la **resistencia de las tuberías**, dato normalmente aportado por el fabricante.

Es necesario tener en cuenta la **presión estática** en cada punto de consumo, pues habitualmente es ésta la mayor presión a la que está sometido.

Debido al fenómeno de **golpe de ariete** (que conlleva una sobrepresión aproximada de 8 m.c.a./km), se estima que no es bueno que la presión estática de la red de distribución sobrepase los 60 m.c.a.

Presión mínima

Este mínimo se establece para asegurar que el agua llega al punto de consumo en condiciones de presión suficiente.

Normalmente se considera una presión suficiente 5 m.c.a. .

Velocidades admisibles

Velocidad máxima

La velocidad máxima se limita por varios motivos:

- Aumento de pérdidas localizadas.
- Desgaste de las tuberías.
- Golpe de ariete.

Las recomendaciones más habituales son las siguientes:

Diámetro interior, mm	Velocidad máxima, m/s
<150	1,5
<600	2
>600	2,5

Velocidad mínima

La velocidad mínima se impone por criterios de **no-deposición** de sólidos en el interior de las tuberías y por criterios de salubridad.

Se recomienda como mínimo aconsejable para todas las tuberías un valor de 0,6 m/s.

Criterios de corrección de redes de abastecimiento

Una vez se ha calculado el régimen de velocidades y presiones en una red de distribución, es necesario comprobar que los valores obtenidos están dentro del rango permitido.

Si no fuera así, habrá que variar los diámetros de las tuberías y volver a calcular todo el sistema.

Presión en un punto superior a la máxima

Si se tiene en cuenta que la presión máxima es la estática, resulta evidente que la solución para reducirla no pasa por variar los diámetros, sino que se deberá dividir la red de abastecimiento y colocar algún depósito intermedio

Presión en un punto inferior a la mínima

Existen demasiadas pérdidas; debe aumentarse el diámetro de alguno de los tramos por los que circula el agua hasta llegar a dicho punto.

Velocidad en un tramo superior a la máxima

El diámetro es excesivamente pequeño; deberá aumentarse en dicho tramo. Se producirá simultáneamente un aumento de presión en el sistema.

Velocidad en un tramo inferior a la mínima

El diámetro es excesivamente grande, por lo que deberá reducirse. Se producirá a la vez una reducción de la presión en el sistema.

Si la red es **ramificada**, los **cálculos son inmediatos** puesto que se conocen los caudales en cada uno de los tramos (sumando las demandas aguas debajo de dicho tramo) y, por consiguiente, las pérdidas, las presiones, las velocidades, etc.

Si la **red es mallada**, los cálculos son un tanto más complejos, puesto que no se conocen *a priori* los caudales en cada uno de los tramos. La solución más fácil es utilizar un **programa de cálculo** de tuberías, como por ejemplo EPANET.

EPANET**Introducción**

EPANET es un programa de cálculo desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos que simula el funcionamiento de una red de agua a presión, desde los siguientes puntos de vista:

- Distribución de velocidades y presiones.
- Evolución de parámetros de calidad como la concentración del cloro residual.

EPANET permite introducir en el modelo los siguientes elementos:

- Tuberías.
- Codos.
- Bombas.
- Puntos de consumo.
- Tanques.
- Puntos de nivel constante (por ejemplo, lagos).
- Válvulas.

Algunas capacidades del modelo hidráulico

- Se pueden modelizar redes de cualquier tamaño.
- Las pérdidas de carga las calcula utilizando las ecuaciones de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach o Chezy-Manning.
- Se pueden incluir las pérdidas de carga locales por codos, válvulas y otros accesorios.
- Se pueden modelar bombas operando a velocidad constante o variable.
- Se puede estimar la energía consumida en un bombeo y su coste.
- Se puede modelizar el comportamiento de diversos tipos de válvulas: corte, retención, regulación de presión y control de flujo.
- Se pueden considerar múltiples categorías de demanda en los nudos, cada una con su respectivo patrón de tiempo.

Algunas carencias del modelo

- Cálculo de sobrepresiones debido al golpe de ariete.
- Predimensionamiento de diámetros.

9.5.3 Elemento de la red de distribución

Dejando aparte el posible bombeo en el sistema, la red de distribución cuenta con los siguientes elementos:

- Depósitos
- Tubería de distribución
- Válvulas
- Puntos de consumo de agua

Comentarios sobre depósitos**Diseño básico**

Los tanques de distribución en proyectos de cooperación al desarrollo suelen estar diseñados para suministrar el **volumen equivalente a un día de consumo**, especialmente en sistemas con bombeo. Se puede **optimizar** el volumen del tanque realizando un **análisis temporal de entradas y salidas** en el mismo, que. Este análisis debe llevarse a cabo para el día de mayor consumo.

Su ubicación viene determinada por los siguientes factores:

- Suficiente cota para asegurar la presión necesaria (3-4 mca).
- Cota no excesiva para evitar presiones demasiado elevadas en la tubería (60 mca para una tubería estándar).
- Cercanía a la zona a servir para reducir el coste de la tubería.



Tanque de mampostería de 100 m³. Fuente: ESF-INTERMON Etiopía (2003)

Accesorios

- Válvula de flotador en la entrada.
- Tubería de salida con válvula de paso.
- Tubería de drenaje y limpieza en el punto más bajo.
- Rebosadero.
- Acceso de hombre para limpieza interior.
- Tubería de aireación protegida con una malla.

Es muy útil instalar un contador para conocer el consumo y poder contrastarlo con los datos de las fuentes públicas o acometidas domiciliarias.

Consideraciones constructivas

En general, la capacidad de los tanques oscila entre 10 y 100 m³, en función del tamaño de la comunidad. Estos tanques se pueden realizar en ferrocemento, acero galvanizado, ladrillo o mampostería.

Los tanques mayores de 80-100 m³ se construyen en hormigón armado, pudiendo llegar a volúmenes de 1.000 m³.

Tanques elevados

En zonas llanas, sin puntos elevados, será necesario utilizar tanques elevados. En teoría, el volumen de estos tanques se debería calcular del mismo modo pero, debido al excesivo coste de un tanque elevado con un volumen considerable, **habitualmente no se sobrepasan los 10 m³**.

Los sistemas con tanques elevados y bombeo suelen bombear de forma intermitente a lo largo del día para optimizar el servicio y el coste del tanque elevado. Es muy habitual contar con tanques de 2-4 m³ y bombear 2-3 veces al día. Estos tanques suelen ser metálicos, aunque también los hay de hormigón armado o ladrillo sobre pilares de hormigón armado o acero.



Los tanque elevados son una solución en zonas llanas.. Fuente: ESF-INTERMON Etiopia (2003)

Tanques de ferrocemento

El ferrocemento es una tecnología ampliamente extendida en América Latina con la que se pueden llegar a construir tanques de hasta 50 m³. Sus características principales son:

- Mortero rico en cemento sobre dos capas de tela de gallinero y una malla electrosoldada.
- Espesor final entre 30 y 100 mm, según altura y diámetro del tanque.
- Fácilmente reparable.
- Fondo cóncavo para absorber mejor los esfuerzos.
- Cubierta algo cóncava por el mismo motivo..
- Solución muy económica en cuanto a materiales.
- Requiere mucha mano de obra no cualificada (alta participación comunitaria).



Proceso de atado de la malla en un tanque de ferrocemento. Fuente: ESF-El Salvador

Tanques tipo OXFAM

Los tanques tipo OXFAM, muy habituales en situaciones de emergencia, también son adecuados para la distribución. Sus principales características son:

- Exterior de chapas de acero conformando un tanque circular.
- Interior recubierto de goma sintética
- Cubierta de plástico.
- Ligero y de fácil instalación.

Tuberías

Soluciones disponibles

Las tuberías representan una inversión considerable y, por tanto, resulta fundamental seleccionar el tipo de tubería más adecuado. Los materiales disponibles más habituales son:

- Hierro galvanizado.
- PVC.
- Polietileno (PE).

La selección del tipo de tubería se basa en los siguientes factores:

- Coste y disponibilidad local.
- Presiones de diseño del sistema.
- Presencia de aguas y/o suelos corrosivos.
- Condiciones como sobrecargas de tráfico o proximidad a aguas residuales.

Tuberías de hierro galvanizado

El hierro galvanizado es el **material más resistente**, resultando la mejor opción para presiones de trabajo por encima de los 120 mca.

No es habitual tener estas presiones en el tramo de red de distribución, sino más bien en el **tramo de impelencia**.

Estas tuberías son **difícilmente perforables** sin herramientas adecuadas, lo cual es una ventaja si el **riesgo de conexiones ilegales** es real.

Es necesario disponer de conexiones universales cada 50 m para facilitar las operaciones de mantenimiento.

Estas tuberías pueden no estar enterradas, lo cual reduce el trabajo a realizar en terrenos especialmente duros. De todos modos, se deben anclar cada 6 metros para reducir los movimientos bruscos.

Tuberías de PCV

Las principales ventajas de este tipo de tuberías son:

- Facilidad de conexión.
- Precio más económico.

Por el contrario, sus desventajas son:

- Pérdida de resistencia si se expone al sol durante largos periodos de tiempo.
- Deben ir enterradas sobre un lecho de arena de unos 5 cm para evitar su rotura.



Tubería de PVC lista para ser colocada en la zanja. Fuente: ESF – El Salvador
Tuberías de polietileno

Las principales ventajas de este tipo de tuberías son:

- No pierde resistencia si se expone al sol durante largos periodos de tiempo.

Por el contrario, sus desventajas son:

- Más caro que el PVC.
- Escasa disponibilidad a nivel local.

Algunas válvulas

Válvulas de corte

Las válvulas de corte cumplen la función de **conectar o desconectar dos tramos de tubería**. Se colocan en **bifurcaciones** importantes en la red, así como a la **entrada de cada vivienda**.

La colocación de una válvula de corte puede ser útil en varios casos:

- En caso de rotura o reparación en la red, evita que se vacíe o deje de funcionar toda la red.
- Regular el caudal circulante para redistribuir presiones en la red (únicamente en casos excepcionales, debido a que una válvula semiabierta se acaba rompiendo en pocos años).
- Cortar el suministro a un beneficiario, si fuera necesario, en caso de impago reiterado.

Hay muchos tipos de válvulas de corte, como por ejemplo, las de mariposa y las de compuerta. Ambas se pueden accionar mediante una palanca o bien mediante un volante.

Válvulas reductoras de presión

Las válvulas reductoras de presión tienen la función de **reducir la presión aguas abajo** de ellas, mediante la provocación de una pérdida de carga.

La colocación de una válvula reductora de presión puede ser útil en varios casos:

- Zonas muy deprimidas topográficamente con presiones excesivamente altas.

En estos casos, es la opción óptima, aunque el **precio es alto**. Otras posibilidades más baratas en inversión, en caso de que la situación restrictiva no sea la hidrostática son:

- Reducir el diámetro de la tubería, de manera que las pérdidas de carga sean grandes y, por tanto, la presión aguas abajo se reduzca.
- Válvula de corte semiabierta.

A largo plazo, estas soluciones pueden resultar más caras por roturas del sistema, funcionamiento deficiente, etc.

Válvulas mantenedoras de presión

Las válvulas mantenedoras de presión tienen la función de **asegurar una cierta presión aguas arriba** de ellas.

Las válvulas mantenedoras de presión son útiles en las siguientes situaciones:

- Zona localizada con cotas topográficas muy superiores al resto de la población.

Este tipo de válvulas también tiene un precio elevado, por lo que hay que valorar en cada caso si su colocación es más económica que independizar las redes de abastecimiento de las zonas altas respecto a las bajas.

Válvulas reguladoras de flujo

Las válvulas de flujo tienen la función de asegurar que el **caudal en el tramo** donde están instaladas **no supera el valor de tarado**.

De esta manera, se asegura que no se va excesivo caudal a una zona, en perjuicio de otra.

El precio de estas válvulas es elevado, por lo que en ciertos casos puede ser más económico independizar las redes de abastecimiento a las distintas zonas.

Válvulas de desagüe

Las válvulas de desagüe tienen la función de **desaguar la instalación** para realizar, por ejemplo, trabajos de **reparación o mantenimiento**.

Se colocan en los puntos topográficamente deprimidos y es necesario evitar el estancamiento de agua.

Puntos de consumo de agua

Conexión domiciliar

La conexión domiciliar lleva el agua de la tubería de distribución a un grifo, situado habitualmente en el patio de la vivienda.

La conexión domiciliar cuenta con los siguientes elementos:

- Conexión a la tubería general por medio de una pieza en T.
- Contador para facilitar la gestión del sistema.
- Grifos de 0,5" (12,7 mm).

Las principales ventajas de las conexiones domiciliarias son:

- Facilidad de la gestión posterior del sistema.
- Nivel de servicio más elevado.

En cuanto a las desventajas, cabe destacar lo siguiente:

- Inversión mayor que en fuentes públicas.
- Necesidad de una captación de agua que asegure 50 l/hab·día para justificar la inversión.



Conexión domiciliar y contador de agua. Fuente: ESF – El Salvador

Fuentes públicas

Las fuentes públicas, de uno o más grifos, se comparten entre toda la comunidad o un grupo de familias.

Entre las características más destacables de estos sistemas encontramos lo siguiente:

- El diámetro de los grifos está entre 0.5" y 1", lo que habitualmente permite un caudal de 0.1 – 0.2 l/s.
- La gestión del cobro es algo más compleja al tener que establecer un sistema, bien igual para todos, o bien ponderado en relación con el consumo.
- Es habitual que su **funcionamiento** sea **intermitente** a lo largo del día, existiendo un **guarda** a cargo de la fuente, que a su vez realiza tareas de mantenimiento y cobro.
- Es habitual construir lavaderos o abrevaderos junta ellas.

Las fuentes públicas se deben ubicar adecuadamente en la comunidad, para respetar como mínimo lo siguiente:

- Zonas llanas: 250 m a la vivienda más alejada.
- Zonas agrestes: 15 minutos andando.

Aspectos constructivos

Tanto las pilas domiciliarias como las fuentes públicas se pueden construir en ladrillo, hormigón o mampostería, dependiendo de los materiales disponibles en la zona.

Es imprescindible dar una salida adecuada al drenaje de aguas, bien por medio de una losa de hormigón conectada a una cuneta, o bien desviando las aguas allí donde se pueda.

El punto de consumo de agua debe contar con un sistema de protección para evitar que los animales beban de él. Esto se consigue con sistemas de vallado con materiales locales.



Fuente pública protegida con valla de madera. Fuente: ESF-INTERMON Etiopia (2003)

10. Abastecimiento de agua en comunidades en desarrollo: Tratamiento

Prácticamente todos los sistemas de abastecimiento de agua requieren un tratamiento del agua para que sea potable. Pero, por otro lado, muchas veces la comunidad:

- No puede asumir su coste.
- No puede asumir su complejidad técnica.
- No muestra predisposición favorable al respecto.

10.1 La calidad del agua en todo el proceso

Para reducir los riesgos de contaminación microbiológica, física y química del agua potable es necesario tener en cuenta diversos aspectos a lo largo de todo el sistema de abastecimiento:

- Gestión del uso del suelo en la zona de captación.
- Selección y protección de las fuentes de agua.
- Tratamiento y reciclaje del agua residual.
- Sistema de distribución adecuado y bien mantenido.
- Prácticas seguras por parte de los usuarios.

10.2 Objetivos

El objetivo principal es reducir la contaminación hasta niveles aceptables por los usuarios, de forma que el uso y la sostenibilidad del sistema no se vean afectados negativamente, teniendo en cuenta que la aplicación de un sistema de tratamiento está siempre condicionado por aspectos técnicos y económicos.

Todo proceso de tratamiento de agua potable pretende:

- Eliminar de todos los organismos patógenos.
- Eliminar los elementos químicos peligrosos: metales pesados, fluor, arsénico, nitratos.
- Eliminar los constituyentes orgánicos.
- Reducir la materia en suspensión que causa turbiedad.
- Eliminar el hierro y el manganeso que dan color y gusto amargo al agua.

10.3 Algunos sistemas necesitan más tratamiento que otros

Generalmente, las aguas subterráneas están menos contaminadas que las superficiales; pero en aquellos casos en que el agua subterránea muestra contaminación, básicamente metales pesados, su tratamiento es mucho más difícil y costoso.

El agua superficial requiere casi siempre tratamiento.

10.4 Aireación y sedimentación

10.4.1 Aireación

En purificación y tratamiento de aguas se entiende por aireación el proceso mediante el cual el agua es puesta en contacto íntimo con el aire, con el fin de modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella.

Las funciones más importantes de la aireación son:

- Transferir oxígeno al agua.
- Disminuir la concentración de CO₂.
- Oxidar hierro y manganeso.
- Eliminar compuestos orgánicos volátiles.
- Eliminar sustancias volátiles productoras de olores y sabores.

En purificación de aguas se agrega oxígeno mediante aireación, principalmente para la remoción de hierro y manganeso.

La aireación cumple sus objetivos de purificación del agua mediante el arrastre o barrido de las sustancias volátiles, causado por la mezcla turbulenta del agua con el aire, y por el proceso de oxidación de los metales y los gases.

Los principales aireadores utilizados comúnmente en purificación de aguas son:

- Toberas.
- Cascadas.
- Canales inclinados.
- Aireadores de bandejas.

10.4.2 Sedimentación

La sedimentación consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua.

El principal objetivo de esta fase del tratamiento es eliminar las arenas presentes en el agua.

Su diseño se basa en la determinación del diámetro de arena eliminado, en función del tiempo de retención en el tanque.

Como resultado de este proceso obtenemos:

- Efluente clarificado.
- Residuos fangosos que deben ser eliminados periódicamente.



Ejemplo de tanque de sedimentación. Fuente: ESF – El Salvador

10.5 Filtros de arena

10.5.1 Introducción

Habitualmente se emplean filtros lentos de arena, al ser estos lo que presentan una mayor eficacia para el tratamiento de aguas para el consumo humano.

Su funcionamiento se basa en los procesos biológicos, físicos y químicos que se dan cuando el agua circula lentamente a través de un lecho de arena.

10.5.2 Elementos del sistema

- **Prefiltro.** Retiene partículas gruesas, evita la disturbación de la arena al añadir el agua que se va a filtrar.
- **Reductor de caudal.** Este dispositivo permite restringir el caudal de agua y controlar el nivel dentro del balde con el agua cruda.
- **Arena.** Material filtrante que retiene las partículas finas y agentes microbianos.

10.5.3 Proceso

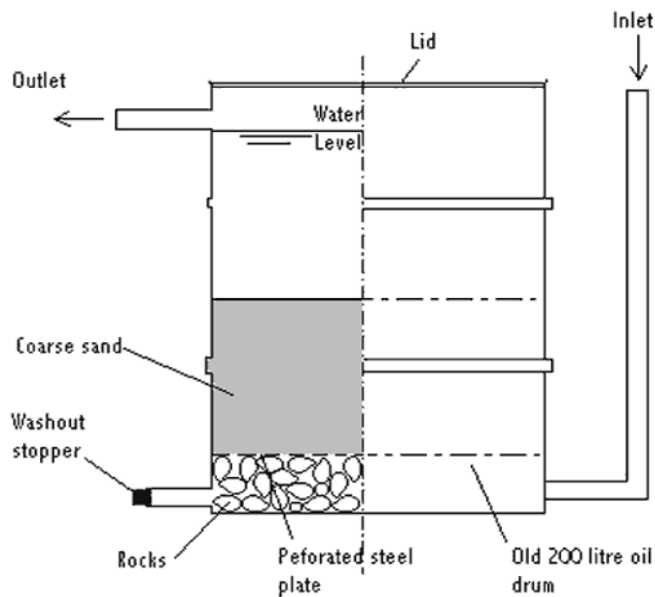
- Durante la operación, el filtro de arena queda cubierto por una altura de agua entre 0.3 y 1.0 m.
- El agua entra suavemente en el filtro.
- El agua pasa por una capa de arena de 0,6 a 1 metro.
- En la superficie de arena se desarrolla una población de microorganismos que se alimenta de las bacterias y la materia orgánica presente en el agua.
- El agua filtrada se conduce después por un sistema de drenaje inferior.

10.5.4 Tipologías

Existen filtros de arena con distintas direcciones de flujo:

- Descendente.
- Ascendente.

Desde otra perspectiva, hay filtros de arena que dan servicio a toda una comunidad, y otros que son de uso a nivel de vivienda.



**Esquema de filtro de arena ascendente. Fuente: Development Technology Unit.
School of Engineering. University of Warwick**

10.5.6 Algunos comentarios de diseño

- Se caracterizan por una baja velocidad de filtración (0.1 – 0.3 m/hora).
- El tanque filtrante cuenta con un dren inferior cubierto de grava y arena filtrante.
- Cuando el filtro sirve a toda una comunidad, el tanque de infiltración puede ser de hormigón, ladrillo, ferrocemento, etc.
- Es necesario prever dos filtros para garantizar el funcionamiento del sistema durante las tareas de mantenimiento.
- Existen filtros de arena a nivel familiar. Podemos ver un ejemplo en el siguiente enlace:

10.5.7 Mantenimiento y efectividad

- Es fundamental que el agua llegue prácticamente sin fuerza al filtro para no erosionar la capa biológica superior. Para ello se suele instalar un difusor de caudal.
- En general, un buen mantenimiento y una operación adecuada del sistema garantiza un agua libre de organismos patógenos.
- En promedio, se obtiene 3,75 litros de agua clarificada por hora, que equivale a 90 l/día.
- Su efectividad depende de la película biológica que se forma en los primeros milímetros superiores.

10.6 Cloración

10.6.1 Introducción

La cloración de las aguas se considera el método más efectivo y económicamente factible para la desinfección de las aguas residuales.

10.6.2 Efectos

Como efecto de la oxidación del agua se ven modificadas algunas de sus características:

- Eliminación de materia orgánica.
- Oxidación de hierro y manganeso.
- Cloro residual libre o combinado.
- Eliminación de olor, gusto y color.

10.6.3 Posibles modos de aplicaciones

En función del pH del agua, se debe seleccionar una de las siguientes formas desinfectantes:

- Ácido hipocloroso.
- Hipoclorito.
- Monocloramina.

Para su aplicación existen diversos productos en el mercado en fase líquida (concentrada o diluida) o sólida (polvos o pastillas).

Se debe procurar que exista una porción de cloro residual al finalizar la desinfección, con el fin de asegurar la calidad del agua durante el transporte de la misma por las tuberías.

10.6.4 Factores que afectan a la eficacia desinfectante del cloro

- **Eficacia germicida:** de los distintos compuestos del cloro, el ácido hipocloroso es el más eficaz. Sin embargo, si el tiempo de contacto es el adecuado, la monocloramina puede ser tan efectiva como el cloro.
- **Mezcla inicial:** el cloro debe ser mezclado de forma correcta con la masa de agua a desinfectar.
- **Tiempo de contacto:** el cloro debe estar en contacto con el agua a tratar un tiempo suficiente. Este tiempo depende en gran medida de la calidad inicial del agua a tratar, pero se estima que un agua con características medias debería estar en contacto con el cloro unos 30 min.
- **Características del agua:** en presencia de compuestos orgánicos se pueden presentar interferencias en el proceso.
- **Características de los microorganismos:** para un cultivo bacteriano joven (1 día), únicamente se requiere un minuto para alcanzar un número reducido de bacterias; si el cultivo bacteriano tiene 10 días, se requieren 30 minutos.

10.6.5 Desinfección Solar

Actualmente la OMS está promoviendo el programa **Desinfección Solar del Agua**. Este sistema se basa en la desinfección del agua dentro de botellas transparentes de plástico colocadas horizontalmente durante cinco horas en una superficie plana. Esta desinfección es producida por el calor y los rayos ultravioletas del sol.

Para mejorar su efectividad se puede pintar la botella de negro.

10.6.6 Desinfección por yodo

Ventajas

- Independiente del pH (excepto a temperaturas bajas).
- Eficaz contra los organismos patógenos más agresivos.
- Persistencia de valores residuales.

Desinfección por yodo: desventajas

- 20 veces más caro que el cloro.
- Sabor y ligero olor.
- Dificil preparación a escala industrial.

11. Tratamiento de aguas residuales en comunidades en desarrollo: Sistemas autónomos

11.1 Saneamiento: evacuación y tratamiento

Es necesario marcar bien la diferencia entre evacuación y tratamiento cuando hablamos de saneamiento, ya que normalmente la **prioridad absoluta es la evacuación**.

El alejamiento de las aguas residuales de los núcleos de población, principalmente los más densos, es una necesidad de primer orden para garantizar la salubridad.

El tratamiento también es ineludible para preservar el medio ambiente y la calidad del agua en el cuerpo receptor, pero, cuando se dispone de pocos recursos, queda en un segundo plano.

11.2 Sistemas autónomos de saneamiento

Son aquellos sistemas que evacuan y tratan las aguas grises generadas en las viviendas.

Esta solución es adecuada para las zonas con poca densidad de población, en las que no es económicamente rentable afrontar la ejecución de un sistema centralizado de tratamiento.

11.3 Soluciones disponibles

Existen soluciones autónomas que ofrecen rendimientos satisfactorios de depuración y que permiten tratar el agua, a la espera de futuras inversiones en materia de depuración. Las más comunes son:

- Letrinas.
- Fosas sépticas.
- Zanjas drenantes.
- Pozos de infiltración.

11.4 Complemento de proyectos de abastecimiento

Muchas veces, aprovechando la ejecución de un proyecto de abastecimiento de agua, se construye algún sistema autónomo de saneamiento para alguno de los beneficiarios que está motivado (no suelen ser muchos).

La intención es que el resto de beneficiarios, al ver cómo funciona el sistema, lo adopten también en sus viviendas.

Este enfoque tiene diversas ventajas:

- Abordar el saneamiento de una comunidad de forma progresiva.
- Baja inversión inicial.
- Apropiación del proyecto: son los propios beneficiarios quienes deciden libremente acometer la ejecución de su sistema autónomo.

Sin embargo, también cuenta con varias desventajas respecto a una actuación masiva:

- Requiere una fuerte motivación inicial por parte de algún miembro de la comunidad.
- Es necesario adaptar la solución a los materiales disponibles en la zona para garantizar que la solución será reproducida.

11.5 Letrinas

11.5.1 Descripción estándar

Lo que caracteriza a toda letrina es que es un agujero en el suelo donde se depositan:

- las excreciones fecales y/o urinarias humanas,
- el material de limpieza anal,
- las aguas grises.

Los líquidos en ella recogidos se percolan en el terreno que la rodea y la materia orgánica se descompone generando:

- Gases como el dióxido de carbono o el metano, que son liberados a la atmósfera o dispersado en el suelo circundante.
- Líquidos, que se percolan en el terreno.
- Residuos sólidos en proceso de mineralización y consolidados.

11.5.2 Diseño básico

En general, las letrinas se diseñan para que tengan una vida útil de 15-20 años como mínimo, aunque todo dependerá de su tipología y de las condiciones del terreno (de lo colapsable o colmatable que sea, por ejemplo).

La forma del foso de la letrina varía según la profundidad:

- Hasta 2,0 m: cuadrado o rectangular.
- Profundidades mayores: la forma circular es estructuralmente más estable. Suelen tener 1.0-1.5 metros de diámetro para facilitar su construcción.

11.5.3 Tipologías

Existen diversas soluciones en cuanto a diseños de letrinas:

- Letrinas simples

Descripción básica

Losa con un agujero colocada sobre un foso excavado de 2 metros de profundidad.

Comentarios

- La losa debe estar firmemente sujeta por todos sus costados y elevada al menos 15 cm del suelo circundante para evitar que el agua superficial penetre en el foso.
- Si las paredes del foso son poco estables se revisten de un material resistente y poroso sobre el que se coloca la losa.
- El agujero o asiento perforado por donde se defeca cuenta con una tapa para evitar la entrada de moscas y la emanación de olores.

Variantes

Si el terreno es difícil de excavar, se puede construir la letrina elevada, lo que permite:

- Aumentar el volumen del foso.
- Protegerlo en caso de inundación.

Ventajas	Inconvenientes
Bajo coste	Molestias por moscas
Puede ser construida por el propietario	Olores
No necesita agua para su funcionamiento	
Fácil de entender por parte de los beneficiarios	

Ventajas y desventajas de letrinas simples. Fuente: Oliete, 2000

- Letrina con foso profundo

Singularidad

Mediante una barrena se perfora un foso estrecho de una profundidad de 5 a 10 metros, como mínimo.

El agujero, de 300-500 mm de diámetro, puede ser cavado rápidamente a mano o con maquinaria en áreas donde el suelo es firme, estable y sin rocas.

Comentarios

- Fácil y de rápida construcción: muy útiles en caso de emergencias o si se van a utilizar por un corto periodo de tiempo, porque son fáciles y rápidas de construir.
- La vida de la letrina es muy corta.
- El diámetro reducido del agujero aumenta las posibilidades de bloqueo.
- La profundidad del foso incrementa los riesgos de contaminar las aguas subterráneas.
- Las paredes del foso se manchan con facilidad cerca de la entrada, posibilitando que se infeste de moscas.

Ventajas	Inconvenientes
Se puede excavar rápidamente si se dispone equipos de perforación	Molestias por moscas
Apropiada para situaciones de emergencia	Olores
	Corta vida útil
	Riesgo de contaminación de las aguas subterráneas

Ventajas y desventajas de letrinas con foso profundo. Fuente: Oliete, 2000

Un foso de 5 metros de profundidad y 300 mm de diámetro es llenado por una familia de cinco miembros en tan sólo 2 años.

• Letrina ventilada

Descripción

- En la pared de la superestructura donde se detecte que llega más el viento se abre una pequeña compuerta.
- A través de ella entra el aire que circula por dentro de la superestructura, hasta dentro del foso (que en este caso no tiene ninguna tapa).
- La corriente de aire sale otra vez al exterior del foso a través de una chimenea que parte de la losa hasta el tejado de la superestructura.

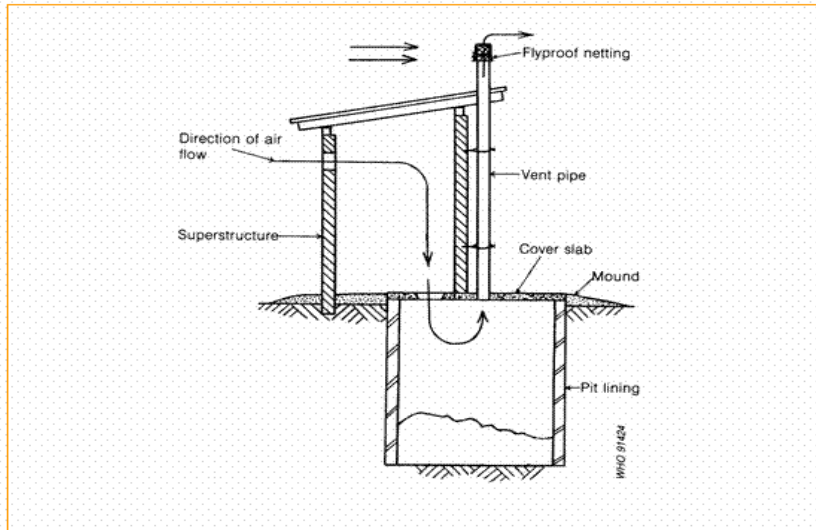
Comentarios

Es necesario tomar algunas precauciones en este tipo de letrina:

- Mantener la superestructura a oscuras.
- Disponer de una puerta que siempre quede cerrada.
- Colocar redes antimosquitos en la ventanilla de la pared y en la salida de la chimenea.

Ventajas	Inconvenientes
Bajo coste	No evita la presencia de mosquitos
Puede ser construida por el propietario	La instalación de la chimenea supone un coste extra
No necesita agua para su funcionamiento	El interior de la letrina debe mantenerse a oscuras
Ausencia de olores en la letrina	
No hay molestias por moscas	
Fácil de entender	

Ventajas y desventajas de letrinas con ventilación. Fuente: Oliete, 2000



Esquema del mecanismo de ventilación de las letrinas. Fuente: Franceys et al, 1992

• Letrina con cierre hidráulico

Descripción

- En el agujero de la losa que cubre el foso se coloca una taza con un cierre hidráulico (o sifón).
- La limpieza después de cada uso se realiza arrojando el usuario de 1 a 4 litros de agua.

Comentarios

- Tiene que haber un depósito de agua en las inmediaciones de la letrina.
- Contaminan menos las aguas subterráneas, ya que los residuos en la letrina están menos concentrados.
- No necesita ventilación, dado que los gases que se producen se van percolando por sus paredes porosas.
- El sifón se puede obstruir con facilidad.
- La taza suele ser cerámica, aunque cada vez más se están empleando materiales plásticos mejor aceptados por los usuarios.

Variantes

A menudo se construyen letrinas con el **foso segregado** en las que éste está situado detrás de la superestructura y conectado mediante un conducto.

Se puede construir la superestructura dentro de la vivienda y el foso en el exterior, sin que esto suponga un problema de higiene.

Ventajas	Inconvenientes
Bajo coste	Es necesario un aporte de agua
Control de moscas y mosquitos	Queda obstruido con frecuencia si no se usa correctamente
El contenido del foso no es visible	
Ausencia de olores en la letrina	
Sensación de estar utilizando un WC convencional	
Posibilidad de conexión futura a un sistema de alcantarillado	

Ventajas y desventajas de letrinas con cierre hidráulico. Fuente: Oliete, 2000

• Letrina con doble foso

Descripción

- Dos fosos separados medio metro por una losa de hormigón.

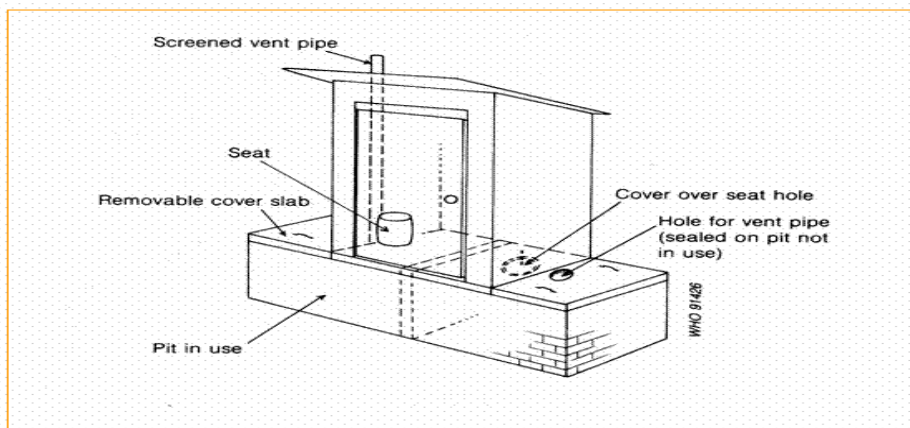
- Cuando el primer foso se está llenando, se deja de utilizar, se rellena con tierra y se pone en servicio el segundo foso.
- Al cabo de dos años las heces del primero estarán completamente descompuestas y los patógenos más resistentes habrán muerto.
- Cuando se complete el segundo foso, se puede vaciar el primero y volver a utilizar.

Comentarios

- Permite mantener la letrina en uso permanente.
- Muy habitual en áreas rurales y en zonas urbanas de baja densidad.
- Los residuos mineralizados que se extraen de la letrina son muy útiles como fertilizantes en la agricultura.

Ventajas	Inconvenientes
Bajo coste	Necesidad de más espacio
Una vez construida la letrina tiene un uso permanente	
Fácil extracción de los residuos	
Utilización, al cabo de 2 años, de los residuos como abono sin necesidad de tratamiento	

Ventajas y desventajas de letrinas con doble foso. Fuente: Oliete, 2000



Esquema mejorado de una letrina de doble foso. Fuente: Franceys et al, 1992

-
- Letrina abonera

Descripción

Los excrementos caen en un compartimento **estanco** al que se le añade una capa de ceniza o materia vegetal.

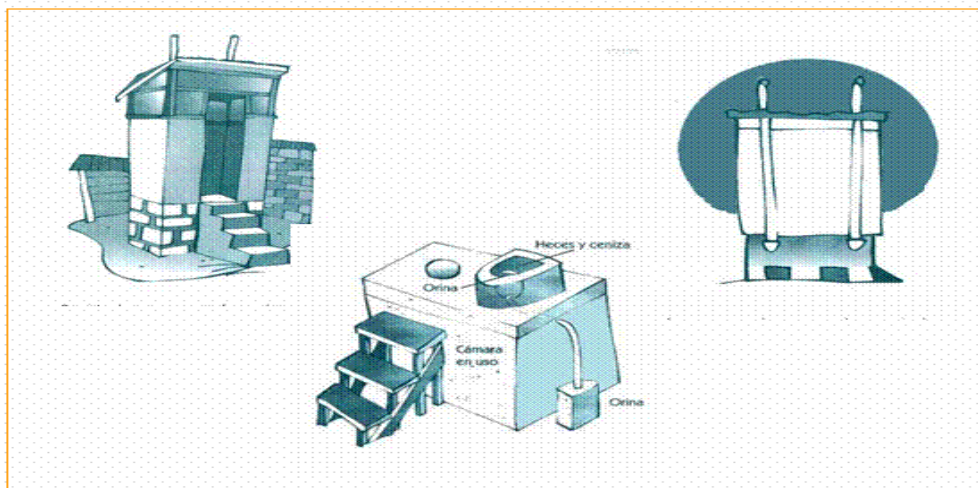
Comentarios

- Si se controlan la humedad y las condiciones químicas, la mezcla se descompone generando, en unos cuatro meses, un residuo aprovechable como fertilizante de suelos.
- En estas condiciones de sequedad y alcalinidad, los organismos patógenos son eliminados.

Tipologías

Existen dos tipos de letrinas aboneras:

- Doble compartimento o discontinuas, en las que se produce una digestión anaerobia.
- Continuas, que utilizan bacterias aerobias.



Diferentes esquemas de una letrina abonera. Fuente: InfoDesastres (OPS)

Doble compartimento

En este tipo de letrinas, cada compartimento, que tiene su propio orificio, es utilizado alternativamente. El proceso es el siguiente:

- Inicialmente se coloca en el fondo una capa de unos 10 cm de material orgánico absorbente, como puede ser un suelo seco.
- Sobre esta capa se defeca y, después de cada uso, las heces son cubiertas con cenizas u otro material vegetal para desodorizar y eliminar el exceso de humedad.
- Cuando se han llenado las tres cuartas partes del compartimento, el contenido se distribuye uniformemente con una pala y se recubre en su totalidad con tierra seca.
- Seguidamente el agujero de la letrina se tapa y pasa a utilizarse el otro compartimento.
- Durante el tiempo que tarda en llenarse el segundo compartimento, el material fecal del primero se descompone anaeróbicamente y se convierte en abono para suelos.

Es habitual recoger la orina separadamente, diluida en agua (3-6 partes) y utilizada como fertilizante (aunque tiene riesgos sanitarios).

Continuas

Consisten en un compartimento estanco e inclinado de aproximadamente 3 metros de largo. El proceso es el siguiente:

- Las heces caen desde el retrete al compartimento.
- Desde una compuerta separada se depositan los residuos orgánicos de la cocina y el jardín.
- Mediante un simple mecanismo de aireación, se asegura que las condiciones en el interior sean aerobias y que el exceso de humedad se pueda evaporar a la atmósfera.
- Mientras los nuevos residuos van entrando por la parte de arriba del compartimento, los antiguos se van moviendo gradualmente hacia el fondo y resbalan dentro de un pequeño depósito, de donde se recogen periódicamente.

Ventajas	Inconvenientes
Se produce un abono muy útil	Mantenimiento muy cuidadoso
	Recoger la orina en un recipiente aparte
	Añadir regularmente cenizas u otros compuestos vegetales

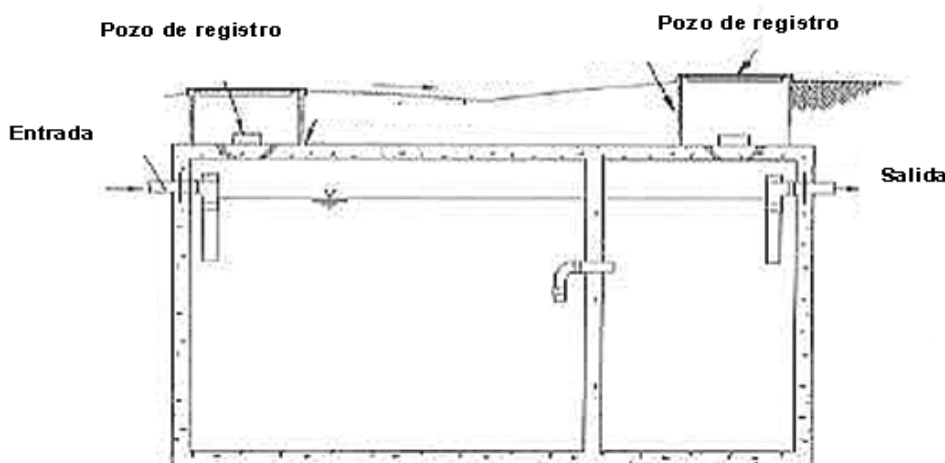
Ventajas y desventajas de letrinas aboneras. Fuente: Oliete, 2000

11.6 Fosas sépticas

11.6.1 Descripción

Una fosa séptica es un compartimento subterráneo al que llegan las aguas residuales domésticas o comunitarias a través de una conducción. Éstas son tratadas parcialmente por la decantación de los sólidos que se depositan en el fondo en forma de lodos.

El efluente de la fosa se infiltra en el terreno a través de drenajes o fosos de infiltración.



Esquema general de una fosa séptica. Fuente: Metcalf & Eddy, 1995

Este sistema es útil en aquellos lugares donde el terreno es permeable y no tiene tendencia a inundarse o saturarse.

11.6.2 Eficacia

En muchos casos se obtienen rendimientos de **eliminación de la materia en suspensión de hasta el 80%**. La eficiencia depende, entre otros factores, de:

- Tiempo de retención (aprox. 1 día).
- Sistema de entrada y evacuación del agua.
- Periodicidad con que se retiren los lodos..

11.6.3 Funcionamiento habitual

- Los sólidos sedimentables formando una capa de fango en la parte inferior del tanque.
- Las grasas y demás materiales ligeros ascienden a la superficie, dando lugar a una capa de espumas formada por la acumulación de materia flotante.
- El agua residual decantada y libre de flotantes que se encuentra entre las capas de fango y espuma, fluye hacia la superficie de infiltración.
- La materia orgánica que queda retenida en la parte inferior del tanque sufre un proceso de descomposición anaerobia y se convierte en dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), sulfuro de hidrogeno (H₂S).
- Debido el peso de los propios lodos, éstos se van compactando.
- Respecto a la temperatura idónea para la digestión anaerobia, se alcanza con facilidad en países tropicales.

11.6.4 Precauciones

- El efluente no debe ser utilizado para el riego por irrigación, dado que es anaerobio y susceptible de contener una gran cantidad de patógenos infecciosos,
- El uso de grandes cantidades de desinfectantes o de productos de limpieza muy ácidos puede ser fatal para la vida de las bacterias anaerobias.
- El contenido del tanque se debe extraer de forma periódica (una vez al año) para evitar la reducción de la capacidad volumétrica efectiva provocada por la acumulación de espuma y fango a largo plazo.

11.6.5 Diseño

Para el cálculo de una fosa séptica es necesario conocer:

- Número de habitantes y viviendas.
- Caudal promedio punta.
- Factor punta.
- Consumo agua habitante/día.

La capacidad volumétrica de la fosa debe ser aproximadamente igual a 5 veces el caudal promedio.

Otros parámetros a tener en cuenta son:

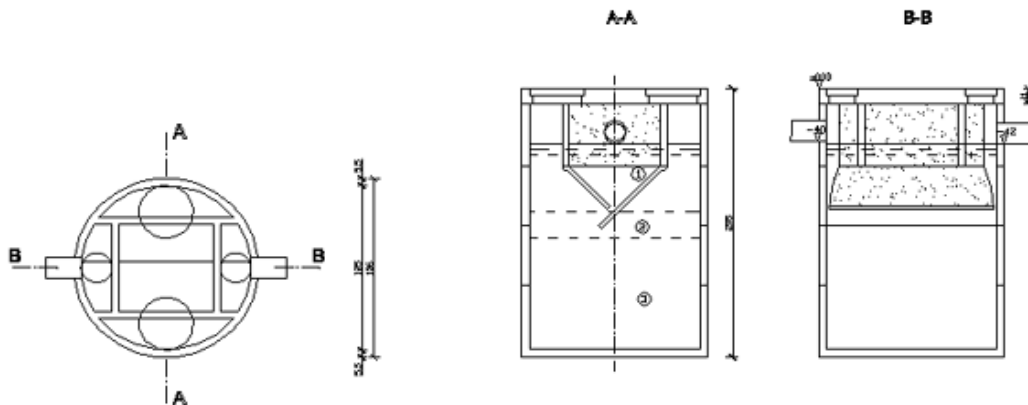
- Superficie libre entre agua y techo de la fosa séptica (20 a 30 cm).
- Instalar dispositivos de ventilación, que permitan la salida de los gases generados en la digestión anaerobia.

11.6.6 Tanques Imhoff

Los tanques Imhoff son una variante de las fosas sépticas en las que el comportamiento se da a dos alturas:

- En la parte superior se produce la sedimentación de sólidos.
- En la parte inferior se produce la digestión.

Son sistemas utilizados en comunidades de 300 a 1.000 habitantes.



Esquema general de un tanque Imhoff. Fuente: <http://www.ceg.trieste.it/>

11.7 Infiltración en el terreno y reutilización

11.7.1 La infiltración en el terreno

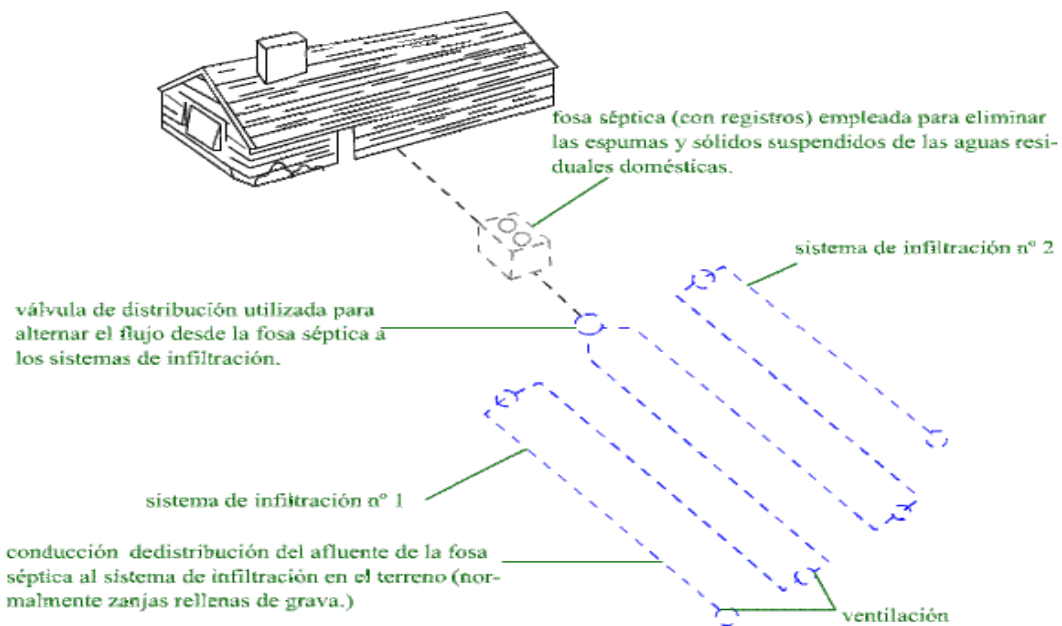
En la siguiente tabla se dan una serie de valores experimentales sobre cuál debe considerarse que es la capacidad de infiltración de un determinado terreno. Estos datos son especialmente útiles si no se tiene experiencia sobre la infiltración del terreno en el que estamos trabajando.

Tipo de suelo	Capacidad de infiltración, agua residual en reposo (l / m ² ·día)
Arena gruesa o media	50
Arena fina, arena margosa	33
Marga arenosa, marga	25
Arcilla limosa porosa y Marga arcillosa limosa porosa	20
Marga limosa compactada, marga arcillosa limosa compactada y arcillas no expansivas	10
Arcillas expansivas	<10

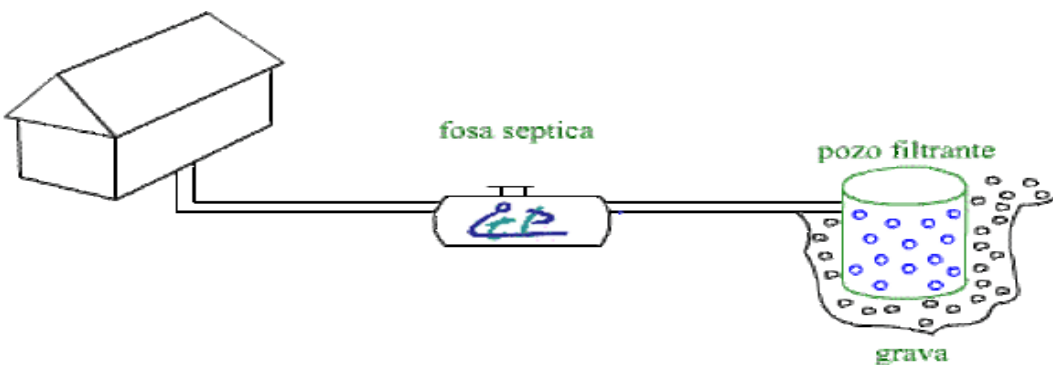
Capacidad filtrante del terreno. Fuente: Metcalf & Eddy, 1995

11.7.2 Distintas soluciones

Existen diversas soluciones para drenar el agua en el terreno.



Solución con zanjas de infiltración. Fuente: <http://www.itp-depuracion.com/>



Solución con pozo filtrante. Fuente: <http://www.itp-depuracion.com/>

11.7.3 Proceso

Inicialmente, cuando el líquido se infiltra en el terreno insaturado, las **bacterias aerobias** descomponen la mayor parte de la materia orgánica filtrada del agua, manteniendo los poros limpios y permitiendo la circulación de aire y efluente.

Sin embargo, si hay tanta concentración de materia orgánica que el aire no puede pasar a través de los poros, la velocidad de descomposición (ahora realizada por **bacterias anaerobias**) es menor y se generan depósitos de sulfuros insolubles.

11.7.4 Consideraciones de operación

La colmatación de los poros del suelo, que implicará una menor infiltración del agua residual en el terreno, puede tener las siguientes causas:

- Obstrucción de los poros debido a los sólidos del agua filtrados.
- Crecimiento de microorganismos y sus residuos.
- Hinchamiento de los minerales arcillosos.
- Precipitación de las sales insolubles.

La obstrucción de los poros puede ser minimizada si:

- Se asegura una infiltración uniforme a lo largo de todo el sistema (foso de la letrina, zanjas de infiltración, etc.).
- Se adopta un régimen de alternancia en el que se deje "descansar" el suelo, permitiendo que se airee, de modo que las bacterias anaerobias perezcan permitiendo reabrir los poros.

11.7.5 Información complementaria

Selección de la ubicación para sistemas de infiltración en el terreno

Época de estudio

En general se deben considerar las condiciones existentes al final de la estación de lluvias, ya que es la época en la que el nivel de las aguas subterráneas es superior.

Situación

Es preferible seleccionar zonas horizontales. Evitar las depresiones del terreno, puntos bajos de pendientes, a no ser que se disponga de un sistema de drenaje superficial adecuado que asegure la evacuación de aguas pluviales.

Separación mínima

Es importante no colocarlos a menos de 15-30 m de un pozo de suministro de agua o manantial, o a 3-6 m de barrancos.

Características del suelo

- **Textura.** Preferentemente arenosa o margosa. No son adecuados los suelos gravosos con poros abiertos ni los suelos arcillosos de baja permeabilidad.
- **Estructura.** Evitar suelos masivos y suelos de estructura laminar.
- **Color.** Los colores brillantes y uniformes son indicativos de un suelo bien drenado y bien aireado. Los colores indefinidos, grises o moteados indican la saturación continua o estacional del suelo.
- **Estratificación.** Los suelos que presentan estratos de diferente estructura o cambios estructurales se deben analizar con detalle para asegurarse de que no impongan graves restricciones al movimiento del agua.

Profundidad de la zona no saturada

Debe existir una zona de 0,6 a 1,2 m de suelo no saturado entre el fondo de la zanja de evacuación y el máximo nivel freático o el estrato rocoso subyacente.

Zanjas drenantes

Descripción básica

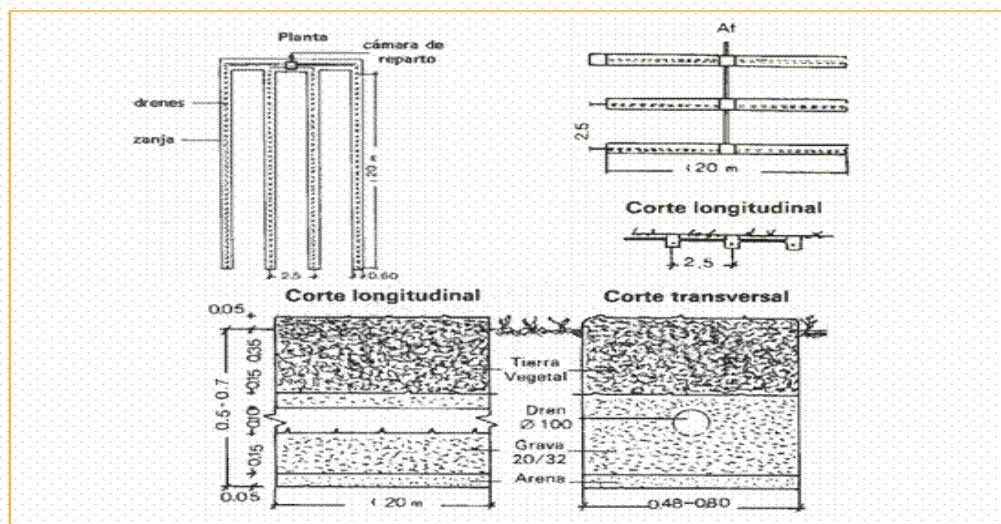
Se trata de zanjas de poca profundidad (< 1.0 m) y anchura (0.45 - 0.80), excavadas en el terreno.

Recogen y distribuyen las aguas residuales pretratadas a través de una tubería drenante o cajas percoladoras, colocadas sobre un lecho de arena y recubiertas de arena o grava.

La grava se cubre con un relleno vegetal, de forma que no se mezcle ni atasque el espacio ocupado por la capa de grava.

En las zanjas, la superficie de infiltración son las paredes laterales y el fondo de la zanja.

Esquema



Esquemas descriptivos de una zanja drenante. Fuente: <http://www.itp-depuracion.com/>

Parámetros de diseño

Como parámetros de diseño más significativos se presentan los que aparecen en la tabla.

Concepto	Unidad	Valor
Tasa de aplicación	m ³ /m ² /día	0.02-0.05
Profundidad zanja	m	0.60-0.90
Ancho de la zanja	m	0.45-0.80
Largo de la zanja	m	10 - 30
Separación entre zanjas	m	1.0 – 2.5
Espesor de cobertura	m	0.15 – 0.30
Separación del fondo a nivel freático	m	0.6 - 1.5

Parámetros de diseño para zanjas filtrantes. Fuente: EPA

Pozo filtrante

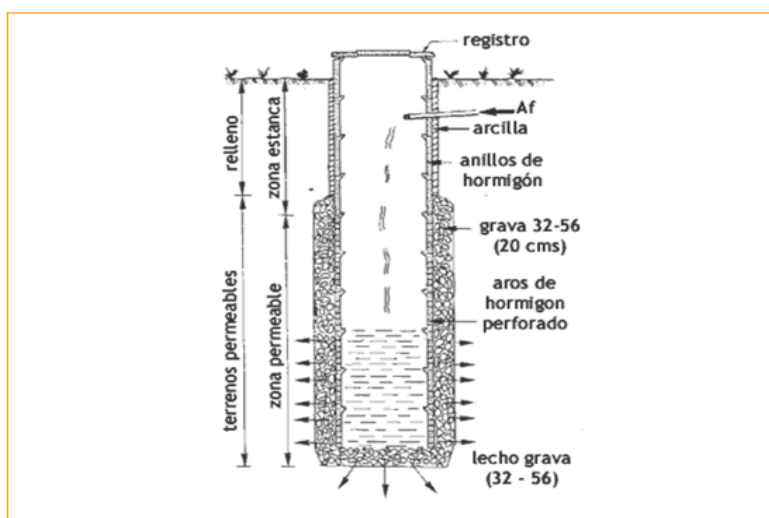
Aplicación

Es un sistema de aplicación subsuperficial que presenta más dificultades de construcción que las zanjas o canales, aunque los efluentes obtenidos son de gran calidad.

Está indicado cuando el nivel freático está a más de 4 metros de profundidad; en tales casos pueden construirse pozos esbeltos que dispongan de una gran superficie lateral respecto a la superficie ocupada en el terreno.

De esta forma se consigue ocupar menos superficie de terreno que las zanjas.

Esquema



Esquema descriptivo de un pozo filtrante. Fuente: <http://www.itp-depuracion.com>

Parámetros de diseño

Como parámetros de diseño más significativos se presentan los siguientes:

Concepto	Unidad	Valor
Tasa de aplicación	$m^3/m^2/dia$	0.025-0.05
Profundidad del pozo	m	3.00-6.00
Diámetro del pozo	m	1.80-3.60
Separación entre ejes de pozos	m	> 4 diámetros
Separación del fondo a nivel freático	m	> 1.2

Parámetros de diseño para pozos filtrantes. Fuente: <http://www.itp-depuracion.com/>

12. Tratamiento de aguas residuales en comunidades en desarrollo: Sistemas colectivos

12.1 Necesidad

Uno de los principales motivos por el que las condiciones de salubridad en las zonas con una densidad elevada de población suelen ser bastante malas es la inadecuada situación de la evacuación y tratamiento de las aguas residuales.

Los sistemas colectivos de saneamiento son aquellos sistemas que evacúan y tratan las aguas grises generadas en el ámbito de la comunidad.

12.2 Elementos del sistema

Un sistema de tratamiento de aguas residuales está compuesto básicamente por dos subsistemas: **evacuación** y **tratamiento**.

A nivel colectivo, los sistemas de **evacuación** de aguas grises disponibles son:

- Cunetas.
- Alcantarillado.

En cuanto al **tratamiento**, existen diversas posibilidades, cada una de ellas con un nivel de servicio y unos requerimientos técnicos y presupuestarios distintos:

- Sistemas de lagunaje.
- Depuradoras.

12.3 Proyectos en sí mismos

Debido a la inversión necesaria para afrontar un sistema colectivo completo de tratamiento de aguas, este tipo de sistemas se suelen afrontar como un proyecto en sí mismos, y no como un complemento de un sistema de abastecimiento.

Los proyectos colectivos de saneamiento tienen diversas **ventajas**:

- La salubridad de la zona mejora sustancialmente en un tiempo breve.
- Ayudan a conformar el tejido urbano en la zona de actuación.

Aunque también cuenta con varias **desventajas** respecto a una actuación con sistemas autónomos de tratamiento:

- Alta inversión inicial.
- Apropiación del proyecto no asegurada por parte de los beneficiarios.

12.4 Sostenibilidad

Con el fin de que el proyecto sea sostenible, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **Económico:** los costes de operación y mantenimiento deben ser cubiertos con las cuotas recogidas entre los beneficiarios.
- **Técnico:** utilizar tecnología de bajo coste y mantenimiento sencillo.
- **Medioambiental:** vigilar posibles contaminaciones por filtración en acuíferos cercanos.
- **Institucional:** las autoridades locales deben estar implicadas en el proyecto.
- **Operacional:** debe existir un comité de agua que gestione el sistema, fije las cuotas, etc.
- **Integración con otros proyectos:** recogida de residuos sólidos, capacitaciones en materia de salud.

12.5 Redes de saneamiento

12.5.1 Función de las redes de saneamiento

La función de una red de saneamiento es **evacuar** las aguas residuales con el objetivo de evitar los problemas de enfermedades y olores que se derivarían en caso contrario.

Muy a menudo estas redes también recogen las aguas pluviales.

Una vez las aguas han sido recogidas por la red de saneamiento, deberían ser **llevadas a un sistema de tratamiento** como, por ejemplo:

- Lagunaje.
- Estación depuradora.

12.5.2 Tipos de redes

Concepto	Alcantarillado	Cunetas
		
Configuración	Subterránea	Superficial
Prevención	Mejor	Peor
Presupuesto	Alto	Reducido

Comparación entre alcantarillado y cunetas. Fuente: Elaboración propia

Desde el punto de vista sanitario, el alcantarillado es la mejor solución.

12.5.3 Diseño hidráulico

Ambos sistemas se diseñan con parámetros similares:

- Diseñados para funcionar por gravedad.
- Redes arborescentes.
- Ecuación de flujo en canal (Manning).

Un aspecto básico en el diseño de redes de saneamiento o drenaje es la velocidad del agua. Los límites sancionados por la práctica son los siguientes:

- Velocidad mínima: 0,4 m/s. Se impone por los problemas de sedimentación
- Velocidad máxima: 8 - 12 m/s (según el material). Se impone por problemas de erosión.

12.5.4 Información complementaria

Elementos de una red de alcantarillado

Albañales

Son las acometidas de las viviendas, talleres o fábricas particulares. Los albañales conectan los puntos de salida de agua de la finca (cocina, baño, etc.) con la red.

Todos los tubos de desagüe deben disponer de un **sifón**, a fin de evitar que el mal olor de la red entre en la vivienda.

El **diámetro** aconsejado para los tubos albañales es de 200 mm. Se desaconsejan diámetros menores por los problemas de obturaciones que originan.

La **propiedad** del albañal se rige en muchos municipios por el siguiente criterio:

- Particular: desde la fachada hasta el interior de la vivienda.
- Colectivo: desde la fachada hasta la conexión con la red.

Imbornales y rejás

Se entiende por imbornal el **pozo de captación** de aguas pluviales y el tubo de conexión con la red.

La salida del pozo hacia el exterior se materializa mediante una **reja de fundición dúctil**, que evita la caída de personas y la obturación de la red por entrada de objetos voluminosos.

El **funcionamiento** del sistema es el siguiente:

- El agua de lluvia circula por la superficie hasta la reja, que se coloca especialmente en puntos bajos, de manera que se recoja la máxima agua posible.
- En la reja se infiltra y cae al pozo, que tiene una profundidad de 70 cm.
- Desde allí va hacia la red por un tubo de 300 mm. Se desaconsejan diámetros menores por los problemas de obturaciones que originan.

Pozos de registro y tapas

Los pozos de registro son estructuras prismáticas verticales cuya función es permitir el acceso a la red desde la superficie para trabajos de limpieza y mantenimiento de la red.

Habitualmente tienen las siguientes características:

- Planta cuadrada de dimensiones 60x60 cm.
- Pared de ladrillo rebozado y alisado.

Apoyada sobre las paredes del pozo se coloca una tapa de fundición dúctil, que debe resistir las cargas del tráfico.

Ejecución de redes de alcantarillado: algunos comentarios

Secciones tipo

Las secciones tipo más habituales son circulares, ya sean de hormigón o de plástico (PVC mayoritariamente).

En ambos casos se colocan los tubos embebidos en un prisma de concreto *in situ* para incrementar la resistencia a las cargas de tierra y al tráfico.

Recubrimiento mínimo

Los recubrimientos mínimos de la generatriz superior del tubo respecto al terreno son muy importantes en **terrenos muy llanos**, donde sea difícil dar pendiente a los tubos.

En casos extremos se puede llegar hasta una distancia entre la generatriz superior y el terreno de 20 cm, para lo cual habrá que **reforzar** el hormigón *in situ* sobre el tubo **con una malla electrosoldada** de acero o con barras de acero transversales al tubo.

Recubrimientos máximos

Los recubrimientos máximos del tubo vienen condicionados por los **medios disponibles para la excavación**.

Si sólo se cuenta con **medios humanos** para excavar las zanjas, se debe limitar la profundidad a 3 m, con lo que se consigue:

- Reducción del trabajo a realizar.
- Reducción del riesgo asociado a que los trabajadores queden sepultados en el fondo de la zanja.

Interferencias con sistemas de abastecimiento de agua

Para evitar posibles contaminaciones de agua, se deben seguir siempre las siguientes indicaciones en caso de cruce con el sistema de abastecimiento de agua:

- Las tuberías de agua potable se colocarán siempre por encima de las de alcantarillado.
- Nunca se colocarán los dos tubos en la misma vertical.

12.6 Sistemas de lagunaje

12.6.1 Introducción

Se trata de un método biológico de tratamiento basado en los mismos principios por los que ocurre la autodepuración en ríos y lagos.

Su funcionamiento se basa en la presencia de oxígeno disuelto. Su concentración y distribución determina el tipo de laguna. Los tipos más importantes de lagunas son:

- Anaerobias.
- Facultativas.
- Aerobias (de maduración).
- Aireadas (no naturales).

Tipos más importantes de lagunas

Lagunas anaerobias

Las lagunas anaerobias se comportan como tanques de sedimentación-digestión, de forma que retienen los sólidos sedimentables, que son mineralizados en el fondo de la laguna.

Actúan como un pretratamiento de otras lagunas o sistemas de tratamiento.

Se dan tres etapas:

- **Hidrólisis**
- **Acetogénesis**
- **Metanogénesis**

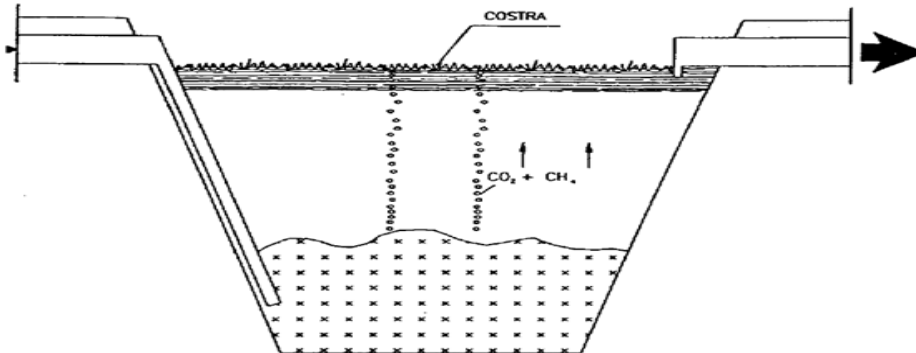


Diagrama laguna anaerobia. Fuente: Grupo TAR

La aparición de burbujas es síntoma de buen funcionamiento en las lagunas anaerobias.

Lagunas facultativas

Son las lagunas por excelencia. Se caracterizan por tener una profundidad intermedia que permite que en la zona superior se den condiciones aerobias, mientras que en el fondo se dan condiciones anaerobias.

La entrada de oxígeno se produce por la fotosíntesis de las algas verdes y por reaireación de la superficie.

El proceso de depuración que se da en ellas es el siguiente:

- Bacterias: mat. orgánica + $O_2 \rightarrow$ productos oxidados + nuevas bacterias
- Algas: CO_2 + nutrientes $\rightarrow O_2$ + nuevas algas

Lagunas de maduración

En estas lagunas se mantiene un ambiente aerobio en todo su volumen.

En ellas se pretende desinfectar el agua residual tratada, llegando en algunos casos a la eliminación de algunos contaminantes, nitrificación y clarificación.

La profundidad y la carga aplicada es menor que en las lagunas facultativas.

Lagunas aireadas

Lagunas en las que se introduce oxígeno en el agua de forma artificial.

El oxígeno introducido permite mantener oxígeno disuelto en toda la laguna y la mezcla es suficiente para mantener los sólidos biológicos en suspensión.

Las lagunas aireadas se pueden asemejar a un proceso de fangos activos de baja carga.

Un sistema de lagunaje está formado por uno o varios estanques de profundidad variable.

12.6.2 Comparativa

Concepto	Laguna anaerobia	Laguna facultativa	Laguna aerobia
Uso recomendado	Vertido de alta carga contaminante, como pretratamiento de laguna Facultativas	Aguas urbanas e industriales. No precisan lagunaje anaerobio previo	Complemento de depuración, a continuación de las facultativas
Carga orgánica incorporada Kg DBO ₅ /ha.día	200 – 1000	15-80	5-20
Tiempo de retención(días)	10-50	6-30	4-12
Profundidad (m)	3-6	1-2.5	0.6-1.2
Dimensiones máximas de cada módulo (ha)	0.1-1	1-4	1-4

Algunos parámetros de diseño para lagunas. Fuente: Adaptación de diversos autores

Concepto	Laguna anaerobia	Laguna facultativa	Laguna aerobia
Sólidos en suspensión	50-65%	0-70%	70-90%
DBO ₅	50-60%	60-80%	80-95%
DQO	45-50%	55-75%	75-90%
Nitrógeno	0-15%	30-60%	55-85%
Fósforo	0-5%	0-30%	40-60%

Rendimiento de cada tipo de laguna. Fuente: Adaptación de diversos autores

12.6.3 Estudios previos

Antes de diseñar un sistema de lagunaje es necesario llevar a cabo un estudio previo para determinar la naturaleza del suelo donde se van a construir las lagunas (accesibilidad, topografía, geología).

12.6.4 Operación y mantenimiento

Este tipo de sistemas de depuración es de fácil operación y mantenimiento. Únicamente es necesario velar por lo siguiente:

- Cuidado de la obra civil.
- Detección de problemas de funcionamiento.

Ventajas	Inconvenientes
Bajo coste de explotación y mantenimiento	Gran extensión de terreno
Necesidades energéticas bajas	Eliminación de lodos
No requieren personal cualificado	Problemas de olores
Rendimientos aceptables	Aparición de insectos
Absorben variaciones de carga puntuales	Problemas de eutrofización
Proceso natural, integrado en el medio	Dificultad para modificar las condiciones operativas
	Pérdida de agua por evaporación

Ventajas e inconvenientes de los sistemas de lagunaje. Fuente: Elaboración propia

12.7 Depuradoras

12.7.1 Diagrama general

El siguiente gráfico recoge los procesos que se dan en una estación depuradora de aguas residuales (EDAR).

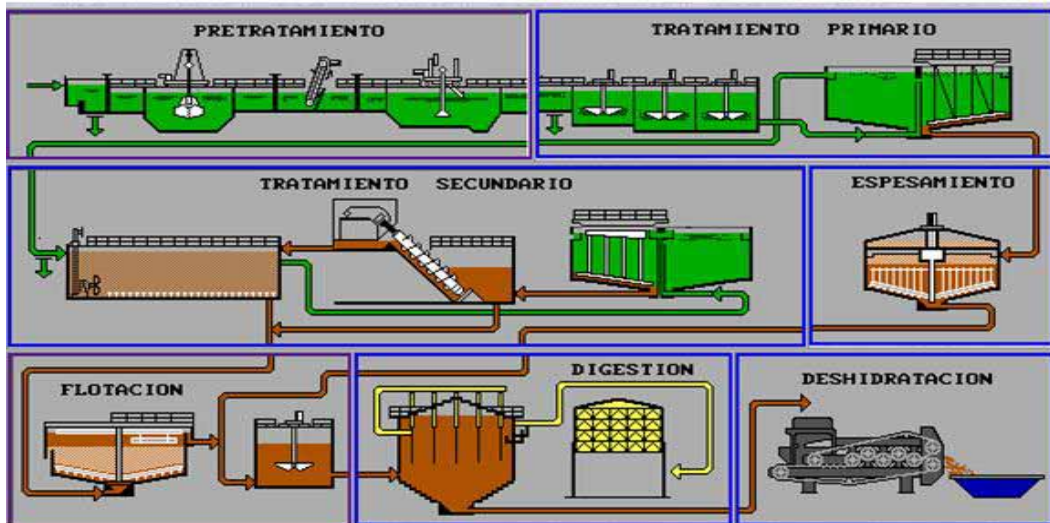


Diagrama de procesos en una depuradora tradicional. Fuente: EDAR

El proceso completo, de forma resumida, conlleva las siguientes fases:

- Desbaste.
- Sedimentación (previamente se añaden coagulantes para favorecerla).
- Digestión de fangos.
- Deshidratación de fangos.

E.D.A.R: descripción de procesos

Pretratamiento

Se efectúa en dos etapas claramente diferenciadas:

- Desbaste: por medio de rejas de gruesos y rejas de finos.
- Desarenadores-desengrasadores: gracias al aire aportado, flotarán las grasas y aceites que son recogidos por rasquetas a un pozo. Al mismo tiempo, la arena sedimentará.

Tratamiento primario

Eliminación de la materia en suspensión sedimentable.

Si este proceso lo potenciamos con reactivos hablamos de tratamiento físico-químico. Este tratamiento físico-químico se divide en dos etapas:

- **Coagulación** en tanques de mezcla rápida.
- **Floculación**

Una vez conseguida la floculación mejora la sedimentación, ya que parte de los sólidos coloidales y disueltos pasan a ser sólidos en suspensión sedimentables.

Tratamiento secundario

Esta fase del proceso persigue los siguientes objetivos:

- Transformación de la materia orgánica disuelta en sólidos sedimentables que se retiran fácilmente del proceso.
- Atrapamiento de sólidos coloidales y en suspensión.

El tratamiento secundario o biológico se realiza en varios reactores biológicos. Éstos pueden presentar apariencias muy diversas (circulares, rectangulares, canales...).

Para conseguir que entre oxígeno para los microorganismos, y producir la necesaria agitación, suele haber electroagitadores superficiales o inyección de aire.

La decantación secundaria o clarificación final, se realiza en varios decantadores dotados de rasquetas que arrastran el fango hacia la zona central del decantador.

Existe una recirculación de los fangos para mejorar el proceso.

Espesamiento por flotación

Se concentran los fangos procedentes de la recirculación o del tratamiento biológico, a los cuales se les mezcla con agua presurizada, aire y reactivos (polielectrolito).

Estos fangos se envían al pozo de mezcla para su posterior bombeo al proceso de digestión.

Digestión

El objeto de la estabilización es disminuir el contenido de materia orgánica de los fangos y eliminar los microorganismos patógenos que contiene.

El proceso de digestión anaerobia se realiza en tanques completamente cerrados en los que intervienen varios tipos de microorganismos:

- Bacterias productoras de ácidos.
- Bacterias productoras de metano.

El proceso que se origina es lento y requiere unas condiciones determinadas.

Deshidratación

Los fangos se deshidratan antes de ser evacuados al exterior, en varias máquinas de filtrado de banda continua. El fango deshidratado se transporta mediante cintas transportadoras a un silo para su posterior evacuación mediante camiones.

Este fango deshidratado suele tener unas buenas características para ser reutilizado en agricultura, después de su compostaje.

12.7.2 Adaptación en proyectos de cooperación

Debido a la tecnología utilizada, las EDAR tradicionales son de difícil aplicación en proyectos de cooperación con un presupuesto limitado.

Además, requieren de mano de obra especializada para su operación y mantenimiento.

Así pues, para núcleos de población importantes, se puede plantear un sistema adaptado a partir de una EDAR y los distintos sistemas de tratamiento de aguas autónomos (fosa séptica, aireación, etc.).

Los municipios de Nejapa y San José Las Flores en El Salvador cuentan con una planta de tratamiento de aguas residuales con los siguientes elementos:

Rejas de desbaste.

Desarenador.

Tanque *Im-Hoff*.

Canal o cascada de aireación.

Riego superficial en terreno cultivado con caña.

Evacuación al río.

12.7.3 Sostenibilidad

Las soluciones adaptadas son altamente sostenibles desde el punto de vista técnico, pues su operación es sencilla y el nivel de servicio bastante alto.

Desde el punto de vista económico, su sostenibilidad dependerá absolutamente de la capacidad y voluntad de los beneficiarios para cubrir los gastos mediante una cuota.

13. Agua y saneamiento en proyectos de desarrollo: Recomendaciones para la formulación

13.1 Segundo paso del proyecto

Después de la identificación, la formulación es la segunda fase en el ciclo del proyecto.

Esta fase, a menudo planteada únicamente desde el punto de vista de la presentación de documentación para conseguir fondos, es de vital importancia, pues en ella es donde:

- Se decide cuáles son los objetivos específicos del proyecto, los cuales ayudarán a la consecución última del objetivo general.
- Se define la solución más adecuada al problema detectado.
- Se definen los indicadores con los que se va a dar seguimiento a la evolución del proyecto y a la consecución de objetivos.

Una formulación inadecuada suele conllevar problemas en la fase de ejecución del proyecto; cuando no en la fase de evaluación. Esto es debido a que:

- Se puede haber desenfocado el problema y estar actuando sobre un factor no determinante en la consecución del objetivo general.
- A nivel técnico y/ social se puede estar planteando una alternativa errónea por falta de análisis de la situación.
- Se puede estar llevando a cabo un proyecto imposible de evaluar, lo que impedirá conocer si ha sido o no el adecuado. Por otra parte, las posibilidades de aprendizaje posterior se ven anuladas.

13.2 Proceso participativo

La formulación es un proceso necesariamente participativo, con el fin de recoger las opiniones y voluntades de todos los actores implicados en el proyecto.

A menudo los propios beneficiarios son los actores que tienen las respuestas a las preguntas que se pueden plantear como:

- ¿Se podría utilizar el agua de este río? ¿será su caudal estable a lo largo del año?
- ¿Esta zona será adecuada para la construcción de un sistema de lagunaje? ¿es zona inundable?
- ¿La selección de grifos automáticos será adecuada para esta comunidad?

Ni que decir tiene que hay muchas otras preguntas que ni tan siquiera se llegan a plantear si no se cuenta con la comunidad.

La recogida de datos se debe llevar a cabo con metodologías participativas para conseguir sacar a la luz la mayor información posible, y acabar definiendo entre todos la solución más adecuada para el problema detectado.

13.3 Facilitadores del proceso

Es fundamental comprender que el proceso de formulación no es propiedad de la ONG del Norte ni de su contraparte, sino que pertenece a todos los actores.

Precisamente la implicación de todos ellos asegura una solución consensuada, lo que revierte en la calidad final de la actuación propuesta.

El papel de la persona que lidera el proceso de formulación debe ser el de facilitador:

- Dando la palabra a aquellos que se puedan ver coartados.
- Reconduciendo los procesos hacia la consecución de una solución consensuada.
- Exponiendo con claridad los limitantes técnicos a los beneficiarios para delimitar el campo de posibles soluciones.
- Clarificando a todos los actores las responsabilidades que deben asumir en las distintas etapas del proyecto.

Pensar que la formulación de un proyecto en Tigray (Etiopia) se puede resolver desde una sala de reuniones en Barcelona o en Addis Abeba es un error irresponsable e inadmisibles desde el punto de vista de lo que es la cooperación.

13.4 La concepción

Previamente a la actuación de cualquier ONG del Norte en proyectos de agua, hay una serie de aspectos que deben ser clarificados para asegurar la mayor eficacia en las actuaciones posteriores:

- Conocimiento de la situación con relación al agua en la zona.
- Análisis de contrapartes potenciales.

13.4.1 Conocer la situación

En cada país se da una situación bien distinta en el ámbito del agua, en cuanto a la interrelación entre los órganos públicos, los actores privados y las ONGs:

- En determinados países, existe una implicación más que evidente de los gobiernos con las empresas privadas y los sectores pudientes. Esto afectará a cualquier intervención que se proponga sobre una zona en la que haya intereses de alguna de estas partes.

- Existen zonas en las que las contrapartes tienen mayor capacidad técnica que la ONG del Norte; y otras en las que las contrapartes no tienen capacidades técnicas.
- Muy a menudo, los gobiernos se desentienden a efectos prácticos de las zonas rurales.
- En otros países, el gobierno considera a las ONGs un actor que procede como inyector de fondos en una zona a la que ellos no pueden llegar por falta de recursos económicos.

De todo ello se puede extraer una conclusión clara:

Es imprescindible conocer la posición de los distintos actores en el ámbito del agua en la zona de trabajo para poder plantear actuaciones viables, sostenibles y eficaces.

13.4.2 Capacidades deseables de la contraparte

La contraparte local es un actor muy importante en la ejecución final del proyecto por diversos motivos:

- Es la organización que está más cerca de los beneficiarios.
- Deberá resolver *in situ* los problemas que se produzcan en la fase de ejecución.

En consecuencia, es fundamental seleccionar una contraparte capacitada para poder ejecutar proyectos de agua; esto incluye, entre otras cosas:

- **Capacidad económica** para poder afrontar parte de los costes que se pudieran originar durante la fase de inspección y recogida de datos previa a la formulación.
- **Personal técnico capacitado** para dirigir y monitorear el proceso de diseño y ejecución:
 - **Conocimientos de ingeniería civil:** obras de captación en manantiales, redes con bombas motorizadas, sistemas de lagunaje, canalizaciones, etc.
 - **Hidrogeólogos experimentados** en la zona de trabajo para llevar a cabo los estudios necesarios en caso de pozos o sistemas de filtración en el terreno.
- Técnicos de campo capacitados para **dirigir las obras**.
- Personal que pueda llevar a cabo las tareas de **promoción social** en las comunidades: salud, género, etc.
- **Equipamiento específico:** según el tipo de proyectos, por ejemplo en pozos profundos sería deseable, disponer de un equipo para hacer ensayos de resistencia eléctrica.
- Sería deseable disponer de un **kit de análisis de agua** para utilizarlo en campo.

13.5 Formulación y diseño

Tanto si estamos en el caso de una intervención amplia, como si se trata de un proyecto aislado, debemos diferenciar claramente dos etapas en la fase previa a la ejecución de un proyecto de abastecimiento de agua: formulación y diseño.

13.5.1 Formulación

El principal objetivo de la formulación es identificar la situación presente, proponer una actuación y evaluar *a priori* la viabilidad del proyecto.

Es el **documento base que recibe el donante** y, por lo tanto, su correcta confección influye en la posible obtención de fondos.

En términos de ingeniería, puede ser considerado como un **anteproyecto**; por tanto, los datos técnicos necesarios deben únicamente justificar la intervención propuesta.

Una vez se ha llevado a cabo la visita a la comunidad y se han levantado todos los datos necesarios, se puede elaborar el documento de **formulación**.

Este documento debe incluir lo siguiente:

- Descripción básica del contexto social.
- Problemática relacionada con el agua.
- Solución propuesta.

Desde el punto de vista técnico, la formulación debe asegurar que el caudal disponible de la fuente es suficiente para cubrir la demanda futura de agua.

En el caso de ejecución de pozos manuales, la formulación debe asegurar que la composición y estructura del terreno lo permiten.

Si se trata de un proyecto único, no encuadrado en una intervención más amplia, la formulación debe incluir pocos aspectos pre-dimensionales del sistema del agua. Por ejemplo, volumen del tanque, energía motorizada de la bomba, número de puntos de agua...

En algunos casos, tanto para intervenciones amplias como para proyectos aislados, puede ser necesaria una primera inversión: levantamiento topográfico para sistemas de agua a presión de cierta envergadura, estudio hidrogeológico preliminar a la ejecución de los pozos, análisis de agua...

Los aspectos sociales se deben incluir principalmente en la formulación, dejando aspectos más técnicos para la documentación del diseño.

Datos necesarios en la Formulación

La estructura de la formulación depende en gran parte de los requisitos específicos de los donantes.

Se presenta aquí un listado de aspectos específicamente relacionados con los proyectos de abastecimiento y saneamiento de agua con el fin de garantizar una mejor intervención. Además de estos aspectos, los donantes suelen requerir información específica de las contrapartes en la formulación.

Aspectos técnicos

- Ubicación: país, región, comunidad.
- Beneficiarios:
 - Número de individuos y de casas.
 - Cabezas de ganado.
 - Otros gastos.
- Situación actual respecto al agua (en caso de que exista un sistema de agua, se deberá entrar en más detalles).
- Alternativas y descripción del sistema elegido.
- Estudio de la fuente (abastecimiento):
 - Calidad.
 - Cantidad.
 - Distancias y tiempos.
- Estudio del terreno (saneamiento):
 - Ubicación propuesta para el sistema de tratamiento.
- Justificación técnica de la intervención.
- Prediseño, en caso de proyectos aislado.
- Aspectos constructivos: materiales disponibles.
- Factores hidrogeológicos, climáticos, geomorfológicos y ambientales.
- Cronograma preliminar.
- Presupuesto preliminar.

Aspectos sociales

- Comunidad:
 - Tipo: estable, reubicados, agricultores, pastores, etc.
 - Configuración: dispersa, semi-urbana, densa.
- Experiencias anteriores en la comunidad (de esta u otras ONGDs).
- Estructura y situación socioeconómica:
 - Renta media.
 - Fuentes principales de la renta.
- Estructuras de organización formales y tradicionales.
- Situación sanitaria:
 - Cobertura por parte de las autoridades locales.
 - Tipo y alcance de enfermedades transmitidas a través del agua.
- Propiedad legal de la fuente de agua.
- Aspectos del género:
 - A nivel comunitario.
 - A nivel de unidad familiar.
- Accesibilidad: caminos, transporte público, etc.
- Servicios públicos: escuela, electricidad, salud,...

13.5.2 Diseño

Una vez aceptada la formulación, y asignados los fondos, se debe elaborar el documento de **diseño**.

Este documento entra ya de lleno en aspectos técnicos de detalle, especialmente en los proyectos aislados, y requiere algunos costes más altos, como por ejemplo:

- Levantamiento topográfico detallado de las líneas principales.
- Examen geofísico para las perforaciones.

- Datos meteorológicos.

Toda esta documentación de diseño es absolutamente necesaria antes de emprender la ejecución.

Datos necesarios en el Diseño

Se presenta aquí un listado de aspectos específicamente relacionados con los proyectos de abastecimiento y saneamiento de agua, complementarios a los ya mencionados en la fase de formulación. Además de estos aspectos, es probable que los donantes pidan información específica referente a las contrapartes.

Aspectos técnicos

- Cálculos:
 - Pronóstico de la población.
 - Demanda base: de acuerdo con el caudal disponible y el consumo previsto.
- Fuente, manantial:
 - Levantamiento topográfico.
 - Cálculos hidráulicos: diámetro de conductos, volumen del tanque,...
- Pozo excavado:
 - Estudio hidrogeológico.
 - Diseño del pozo excavado.
- Pozo perforado:
 - Estudio hidrogeológico.
 - Diseño de la perforación.
- Aprovechamiento de agua de lluvia:
 - Datos de precipitación.
 - Captación y diseño del tanque.
- Bombas:
 - Diseño hidráulico: caudal, altura.
 - Solución energética: combustible, solar, bomba manual, viento.
 - Disponibilidad en el mercado.
- Red:
 - Conductos: longitud, material, diámetros.
 - Tanque: volumen, diámetro, material.
 - Punto de agua: diseño del grifo, drenaje.
- Requisitos de operación y mantenimiento:
 - Previsión de trabajos, tiempos, limpieza.
- Justificación técnica de cuota mínima de agua.
- Solución de drenaje de agua.
- Letrinas:
 - Diseño básico.
 - Habitantes/letrina previstos.
- Lagunaje:
 - Diseño de las distintas lagunas.
 - Ubicación definitiva.
- Planos de construcción.
- Cronograma detallado.
- Proceso de construcción.
- Presupuesto: dividido en fases, actividades y unidades (definiendo la contribución de cada actor):
 - Previos: recursos humanos, topografía, pruebas en el terreno, analíticas, mapas,...
 - Ejecución: materiales, recursos humanos, equipo, herramientas, capacitaciones.
 - Monitoreo y evaluación: sesiones de evaluación conjunta, estudio de impacto,...

Aspectos sociales

Durante la fase de diseño se deben recoger y analizar los datos sociales relacionados como indicadores en la fase de formulación.

Estos datos servirán para determinar la línea base del proyecto que se empleará como punto de partida para futuros estudios de monitoreo y evaluación.

13.6 Listas de comprobación

Se presenta a continuación una serie de aspectos que han de ser comprobados antes de aceptar una formulación:

- Ubicación del proyecto de acuerdo con la estrategia de la organización.
- Demanda de agua presente y futura, calculada de acuerdo a la vida prevista del proyecto y al crecimiento previsto de la población.
- Distancias y tiempos a los puntos de consumo de acuerdo a los estándares establecidos (siempre inferiores a 15 minutos).
- Número de usuarios adecuado de acuerdo al tipo de solución propuesta.
- Estudio de alternativas realizado.
- Calidad del agua:
 - Fuente o manantial: es deseable contar con algún análisis bacteriológico y químico.
 - Otras fuentes: calidad estimada a través de parámetros como olor, sabor, transparencia, etc.
- Sistema de tratamiento del agua:
 - Existencia.
 - Elección adecuada a las características del agua y el terreno.
 - Viabilidad económica, técnica y social.
- Operación y mantenimiento incluidos en la tecnología elegida en el estudio de alternativas. Especialmente, tener en cuenta la existencia de repuestos en la zona.
- Cuota del sistema: viabilidad de la propuesta.
- Criterios medioambientales: protección de la fuente y drenaje de aguas previsto incluso a nivel presupuestario.
- Carta de la comunidad y las autoridades locales solicitando la ejecución del proyecto.
- Propiedad legal: resuelta en cuanto a fuente, zona para tanques, lagunaje, etc.
- Capacitaciones: previstas incluso a nivel presupuestario.
- Monitoreo y evaluación: prevista incluso a nivel presupuestario.
- Género: perspectiva de género considerada a nivel transversal en todo el proyecto.
- Presupuesto:
 - Monitoreo, evaluación, aspectos medioambientales, capacitaciones incluidas.
 - Aportes de la comunidad: claramente establecidos (sería deseable que cubrieran como mínimo el 10% del presupuesto total).
 - Aportes de la contraparte: claramente definidos.
 - Evaluación del coste *per capita* del proyecto.
- Datos de la contraparte según los documentos estratégicos de la organización.

14. Agua y saneamiento en proyectos de desarrollo: Implementación del proyecto

14.1 Todos intentando seguir el proyecto

La fase de ejecución del proyecto suele ser la que **recibe más atención** por parte de las ONGs del Norte y las contrapartes locales, debido a que es entonces cuando se realiza el **mayor desembolso económico**.

De todos modos, muchas veces se insiste demasiado sobre los aspectos técnicos de la obra (calidad de los acabados, plazo de ejecución, consumo de materiales, etc.) y **no se presta suficiente atención a los aspectos no técnicos**.

14.2 El conocimiento técnico se le supone

Tal y como sucede en el ámbito de la ingeniería en los países desarrollados, la capacidad técnica para definir soluciones adecuadas y llevarlas a cabo se da por supuesta.

No es necesario centrar los esfuerzos en hacer un **seguimiento exhaustivo de la ejecución** material del proyecto. De todos modos, es **imprescindible** garantizar que las **obras** lleguen a buen término y **den el servicio previsto** en la fase de formulación.

Así pues, podemos nombrar, entre otras, las siguientes tareas:

- Correcto sellado de los pozos que evite su contaminación.
- Adecuada evacuación de aguas en los puntos de consumo para evitar infecciones.
- Correcto mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas para asegurar la eficacia de su funcionamiento.

14.3 Centrarse en aquello que no controlamos

En la fase de implementación se debe centrar la atención en aquellos aspectos menos controlables de los proyectos de agua, como por ejemplo:

- Problemas de propiedad de la tierra acentuados por la ejecución del proyecto.
- Capacitaciones a distintos niveles (comunitario, comité de aguas, fontaneros) que garanticen el uso adecuado del sistema y su correcta gestión.
- Papel de las mujeres en la toma de decisiones assemblearias.

Es necesario que, ya desde la formulación, se cuente con recursos humanos, económicos y de conocimiento suficientes para llevar a cabo las tareas de capacitación.

14.4 Requerimientos previos a la construcción

14.4.1 Justificación

Existe cierta información que no es necesaria durante las etapas de formulación o diseño, pero que se convierte en imprescindible antes de comenzar con la ejecución del proyecto. De no contar con esta información, es muy probable que éste no llegue a buen término.

14.4.2 Listado no exhaustivo

Se presenta a continuación una lista orientativa de datos necesarios antes de empezar con la construcción efectiva de un sistema de abastecimiento o saneamiento de agua:

- Censo detallado incluyendo hombres, mujer y niños por familia:
 - para determinar la capacidad de trabajo de cada familia,
 - para reajustar la cuota del sistema si es necesario.

- Comité de agua elegido y tareas definidas:
 - organización de equipos de trabajo,
 - clarificación de posibles problemas de propiedad,
 - organización de asambleas comunitarias futuras.

- Personal de operación y mantenimiento elegidos: fontaneros, guardas.

- Levantamiento topográfico (en caso de ser necesario; el nivel de detalle dependerá del tipo de obra a ejecutar).

- Estudio hidrogeológico (en caso de ser necesario; el nivel de detalle dependerá del tipo de obra a ejecutar).

- Cuota del sistema establecida.

- Definición detallada de las aportaciones de la comunidad al proyecto:
 - días del trabajo,
 - materiales,
 - clase de trabajo a aportar.

- Cronograma de capacitaciones definido.

14.4.3 Metodología

La mayor parte de esta información se deberá recoger mediante diversas reuniones con la comunidad.

Es preciso reunirse cuantas veces sea necesario para clarificar esta información. Para ello, es altamente recomendable utilizar alguna metodología participativa en estas reuniones para que resulten eficaces.

14.5 Requerimientos durante la construcción

14.5.1 Justificación

Además de los indicadores de calidad de la construcción de cada proyecto en concreto, es necesario llevar a cabo otras tareas para garantizar su buen funcionamiento futuro.

Sería absurdo pensar que un sistema de abastecimiento o saneamiento de agua puede llegar a funcionar correctamente sólo con una infraestructura de calidad construida.

14.5.2 Listado no exhaustivo

- Reuniones semanales del comité de aguas para programar las tareas, ajustar programaciones, discutir incidencias, etc.
- Reuniones quincenales entre comité de aguas y contraparte para comentar los aspectos más relevantes de la ejecución del proyecto.
- Capacitaciones a nivel comunitario:
 - Salud.
 - Saneamiento.
 - Aspectos ambientales.
 - Exposición simple sobre cuotas y tareas de mantenimiento.
- Capacitaciones a nivel de comité de aguas:
 - Aspectos de gestión (condiciones para nuevos usuarios, multas, registros de incidencias...).
 - Aspectos económicos (contabilidad, tesorería...).
 - Exposición intermedia sobre cuotas y tareas de mantenimiento.
 - Resolución de conflictos.
- Capacitaciones a nivel técnico:
 - Fontanería básica.
 - Detalles sobre tareas de operación y mantenimiento del sistema, ya sea de abastecimiento o de saneamiento de aguas.

14.6 Requerimientos antes de la puesta en marcha

14.6.1 Sistema terminado

Antes de que el sistema construido entre en servicio, bien sea para proporcionar agua a la comunidad o depurando sus aguas, es requisito indispensable que los **trabajos** estén totalmente **terminados**, incluidos los remates.

El **sistema** debe haber sido convenientemente **limpiado**, para asegurar el buen funcionamiento del mismo, y **probado**.

La experiencia demuestra que una vez que el sistema esté funcionando es muy difícil conseguir motivar a la comunidad para que acabe estos trabajos.

14.6.2 Operación y mantenimiento en marcha

Por otro lado, para asegurar una correcta ejecución de las tareas de operación y mantenimiento, los responsables deben tener en su poder las **piezas de repuesto** y las **herramientas necesarias** para la primera fase del proyecto. De este modo se asegura que el proyecto no fracase si se produce una avería temprana, cuando todavía no hay fondos para cubrir los gastos.

Obviamente, el personal encargado debe haber recibido las **capacitaciones necesarias**.

14.6.3 Aspectos económicos resueltos

La comunidad debería también contar con una **cuenta corriente abierta** en una institución de microcréditos o, en su defecto, en una entidad bancaria. Esto asegura la estabilidad económica del proyecto, evitando posibles desviaciones por parte de la gente del comité. Esta cuenta bancaria debe estar a **nombre de la comunidad**.

Por su parte, el comité del agua debe tener al día los **libros de registro** del sistema (usuarios, cuotas pagadas, etc.).

14.6.4 Aspectos normativos resueltos

Antes de que empiece a funcionar el sistema es imprescindible que la **normativa** del sistema haya sido discutida, enmendada y finalmente **aprobada** por la asamblea de usuarios del sistema.

Esto ahorrará muchos problemas en el futuro al quedar estipulado qué sucede si un usuario no paga su cuota o cuál es el procedimiento a seguir para la incorporación de nuevos usuarios.

15. Agua y saneamiento en proyectos de desarrollo: Monitoreo y evaluación

15.1 Monitoreo

Entendemos por **monitoreo** la verificación continua de la puesta en práctica del proyecto, en lo referente a cronograma previsto y uso de recursos, infraestructura y servicios, por parte de los beneficiarios del proyecto.

El monitoreo tiene dos funciones:

- Proporcionar a los distintos actores la **información actualizada** del proyecto.
- Identificar rápidamente los éxitos y problemas reales o potenciales del proyecto con el fin de que se tomen las medidas oportunas.

15.2 Evaluación

La **evaluación** es la verificación periódica de la pertinencia, eficacia, eficiencia, viabilidad, sostenibilidad e impactos (esperado o inesperados) de un proyecto en lo referente a los objetivos marcados.

Las **evaluaciones intermedias** llevadas a cabo por alguno de los actores sirven como primera **revisión** del proceso, **pronóstico** de los efectos esperados y como una forma de identificar **ajustes** necesarios en el diseño del proyecto.

Las **evaluaciones finales**, llevadas a cabo una vez finalizada la ejecución, suelen requerirse para los informes de la terminación del proyecto, incluyendo una identificación de sus **efectos** y su **sostenibilidad potencial**.

Por otro lado, se pueden llevar a cabo evaluaciones a más largo plazo, también llamadas **evaluaciones de impacto**, que recogen los **efectos producidos a largo plazo**.

15.3 Principios a seguir

Todo monitoreo o evaluación debiera seguir los siguientes principios:

- Basarse en un conocimiento sólido de los objetivos y las actividades del proyecto original (matriz EML).
- Limitar el número de indicadores para conseguir que la evaluación/monitoreo sea simple.
- Contar con indicadores definidos correcta y cuidadosamente, sin ambigüedades.
- La información debe ser recogida al nivel más básico posible
- Combinar información cualitativa y cuantitativa.
- La información utilizada debe ser válida y fiable.
- El resultado de la evaluación o monitoreo debe ser utilizado para algún fin.

15.4 Integrado en el proyecto

El monitoreo y la evaluación forman parte del ciclo completo del proyecto y, por lo tanto, la información recogida en cada fase es distinta y el uso que se le da a esa información, también.

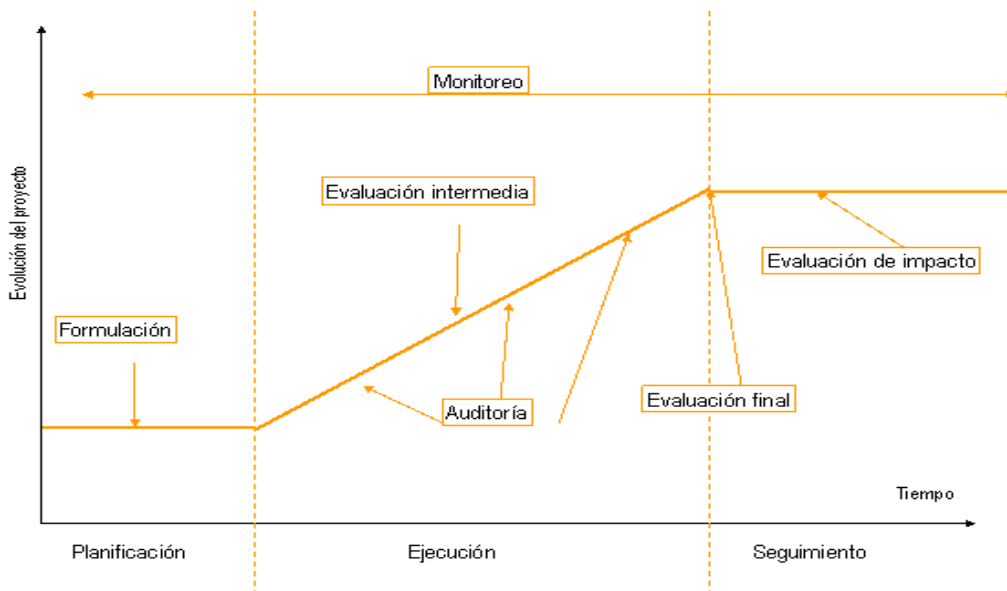


Diagrama del ciclo del proyecto. Fuente: Adaptación de *Operation and Maintenance of rural water supply and sanitation systems: A training package for managers and planners*. IRC-WHO 2000

15.5 Metodologías

Existen multitud de técnicas y enfoques para llevar a cabo una evaluación:

- Indicadores de desempeño.
- Evaluación basada en la teoría.
- Encuestas formales.
- Métodos de evaluación rápida.
- Métodos participativos.
- Evaluación de los efectos.
- Análisis de costos-beneficios y de la eficacia en función de los costos.

Habitualmente, una evaluación completa utilizará diversos métodos, dependiendo del aspecto que se pretenda evaluar.

15.6 Diagrama de procesos del proyecto

El siguiente diagrama resume y ordena los distintos procesos mencionados en este módulo, asignando, además, las responsabilidades sobre cada uno de ellos.

Se han utilizado las siguientes abreviaturas para simplificar:

- o ONG-N: ONG - Financiador.
- o CC: Contraparte + Comunidad.
- o GOB: Gobierno local.
- o EXT: Actor Externo.

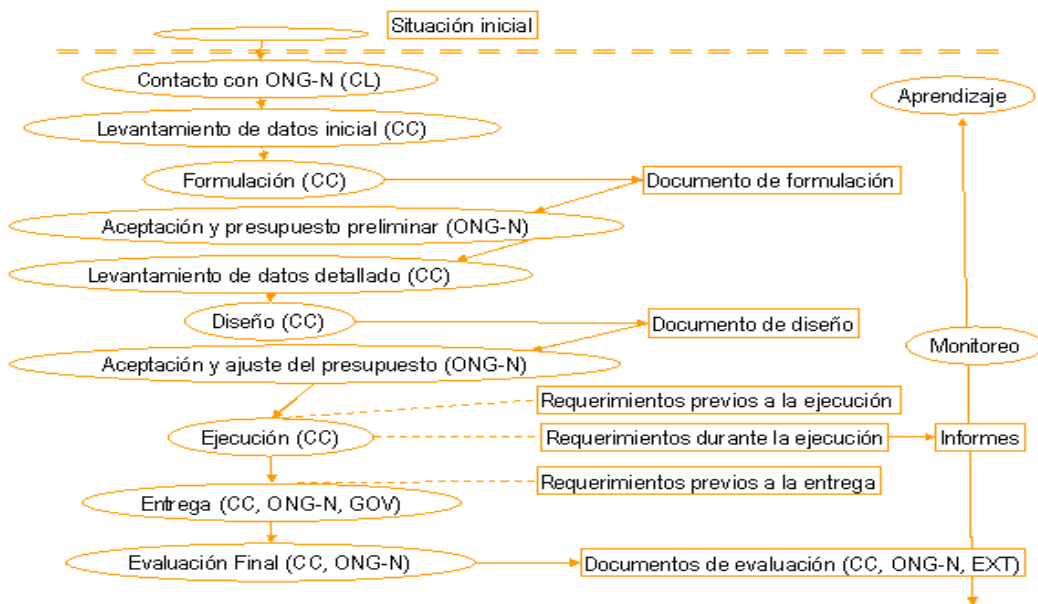


Diagrama de procesos de un proyecto. Fuente: Elaboración propia

15.6.1 Conocerlos

Para conseguir una buena coordinación entre los distintos actores que intervienen en un proyecto de aguas, es necesario tener clara cuál es la interrelación entre los distintos procesos de un proyecto.

15.6.2 Transmitirlos

Sean cuales sean los procesos que intervienen en la realización de un proyecto, es muy recomendable integrarlos todos en un diagrama para fijar conceptos y facilitar la transmisión de la visión del proceso completo a los distintos actores que intervienen en él.

15.6.3 Algunos comentarios

- Es imprescindible dejar por escrito desde el principio aquellos aspectos que se consideren básicos para la buena marcha del proyecto. Esto evitará sorpresas posteriores.
- Los beneficiarios, como primeros implicados, deben participar en todo el proceso: desde la identificación, pasando por el diseño, hasta la evaluación final. Dejarlos como meros espectadores puede conducir a un fracaso estrepitoso al no sentirlo como propio.
- En aquellos casos en los que sea posible, es muy recomendable contar con la implicación de algún organismo público que apoye y dé cobertura legal al proyecto.
- Acelerar el proceso de entrega del proyecto, obviando alguno de los requerimientos establecidos, puede acarrear el fracaso del mismo.
- El monitoreo permite revisar los procedimientos diseñados para ajustarlos a la realidad.

15.7 Indicadores específicos

15.7.1 Comentarios generales

Para conseguir una visión ajustada del proyecto, es absolutamente necesario identificar los **indicadores** en la línea base. Si no, no es posible determinar la influencia de ninguna intervención, comparada con lo que habría sucedido si no se hubiera realizado.

Por lo tanto, antes de empezar la ejecución efectiva de cualquier proyecto, se debe establecer, verificar y rellenar la lista de indicadores del mismo. De este modo la **línea base** quedará bien establecida.

15.7.2 Clasificación clásica de indicadores

Se puede establecer una división temática de los indicadores en los siguientes aspectos:

- **Pertinencia**
- **Eficacia**
- **Eficiencia**
- **Impacto**
- **Sostenibilidad**

Esta división a veces resulta útil, aunque muchas otras debe ser considerada como una mera lista de aspectos a evaluar.

15.7.3 Indicadores en proyectos

Se analizan aquí únicamente aquellos indicadores específicos de los proyectos de aguas, no entrando a valorar los generales aplicables a cualquier proyecto de cooperación.

Algunos indicadores en proyectos de abastecimiento de agua

Las siguientes tablas muestran algunos indicadores en proyectos de abastecimiento de agua:

Aspecto	Indicador	Nivel deseado
Cobertura	# familias conectadas / # familias	100%
Cantidad	demanda real / demanda de diseño	100%
	litros / persona / día	
Adecuación	tiempo dedicado a recoger agua (colas)	< 10 min
	usuarios por punto de agua (según la tecnología)	< 150-250
	Distancia	< 15 min
Horarios y fiabilidad	# horas de suministro diario / # horas según diseño	100 %
	frecuencia de las averías	
	duración de las averías	
Estabilidad fuente de agua	reducción a lo largo del tiempo	no reducción
Fuentes alternativas	# usuarios empleando otras fuentes / # usuarios entrevistados	
Calidad del agua	Turbiedad	<5 NTU
	% muestras > valor definido por <i>E. coli</i> /por 100 ml	
Capacitaciones	calidad del agua en la vivienda y prácticas de almacenamiento	buenas
	capacitaciones al fontanero, vigilante y comunidad	si
	existencia de un manual de agua disponible a nivel comunitario	si
	# usuarios capacitados / # puntos de agua	
	# días de capacitación / 365	
	participantes / sesión de capacitación	
	frecuencia de las capacitaciones de refuerzo	

Tabla de indicadores en proyectos de abastecimiento de agua. Fuente: ESF

Aspecto	Indicador	Nivel deseado
Uso eficiente	# puntos de agua con grifos con pérdidas/ # puntos de agua	0
	# puntos con pérdidas / km de tubería	
Operación y mantenimiento	# puntos de agua en funcionamiento / # puntos de agua	100%
	presencia de herramientas de trabajo	si
	conservación de las herramientas de trabajo	buena
	existen informes de incidencia y otros documento	si
	reparaciones / año	
	% reparaciones solucionadas por la comunidad	
	% reparaciones solucionadas por organismos públicos	
	coste medio de operación y mantenimiento por usuario y comunidad	
	coste medio de operación y mantenimiento por fontanero y/o vigilante	
	accesibilidad de los recambios: distancia y tiempo	
	# reparaciones no llevadas a cabo debido a la falta de recambios	
	# recambios necesarios para el sistema de agua / año	

Tabla de indicadores en proyectos de de abastecimiento agua (II). Fuente: ESF

Aspecto	Indicador	Nivel deseado
Gestión del sistema	# usuarios endeudados / # usuarios	< 5%
	existen actas y otros documentos de las reuniones del Comité de Agua	Si
	existe un registro económico del proyecto, así como una cuenta corriente abierta (si es preciso)	si
	frecuencia de las reuniones del Comité de Agua	mensual
	rotación de los miembros del Comité de Agua	2 años
	frecuencia de las Asambleas de Usuarios	Trimestral
	# participantes en Asambleas / # usuarios	
Género	# decisiones tomadas en las Asambleas	
	# mujeres en el Comité / # miembros del Comité	50 %
	evolución de la tasa de escolarización de las mujeres	creciente
Viabilidad económica	actividades productivas en el tiempo libre	Si
	mayor participación de las mujeres en la toma de decisiones	
Tarifa	ingresos mensuales / gastos mensuales	>1
	tarifa mensual / ingreso familiar mensual	<3%
Salud	cuota por familia	
	mortalidad infantil por enfermedades transmitidas a través del agua	
	mortalidad infantil de menores de 5 años por enfermedades transmitidas a través del agua	
	tasa de enfermedades transmitidas a través del agua sin contar las 10 más habituales	

Tabla de Indicadores en proyectos de abastecimiento de agua (III) Fuente: ESF

Aspecto	Indicador	Nivel deseado
Replicabilidad	ampliaciones del sistema de abastecimiento realizados por la comunidad	si
	elementos del sistema mejorados por la comunidad	si
Satisfacción del usuario	% entrevistados con sentimiento de apropiación del proyecto (clasificado por grado de satisfacción)	
	% entrevistados satisfechos con el servicio (clasificados por grado de satisfacción)	
	% entrevistados satisfechos con el mantenimiento (clasificados por grado de satisfacción)	
	% entrevistados satisfechos con el Comité (clasificados por grado de satisfacción)	
Eficiencia	coste total del proyecto / # usuarios	
	coste total del proyecto / cantidad de agua suministrada al año	
	durada total del proyecto	
Apropiación	participación comunitaria en la formulación	
	participación comunitaria en la construcción	
	participación comunitaria en la financiación	

Tabla de indicadores en proyectos de de abastecimiento agua (IV). Fuente: ESF

Algunos indicadores en proyectos de saneamiento

Las siguientes tablas muestran algunos indicadores en proyectos de saneamiento de agua:

Aspecto	Indicador	Nivel deseado
Cobertura	# familias conectadas / # familias	100%
Cantidad de agua tratada	efluente real del sistema de tratamiento / efluente de diseño	100%
Adecuación	usuarios por punto de tratamiento (letrina, fosa séptica, etc)	según la tecnología
	Tipo de vertido a la red	Directo
Horarios y fiabilidad	frecuencia de las averías	
	duración de las averías	
Estabilidad del efluente	variaciones temporales en la calidad del efluente	Inexistentes
Cobertura	# usuarios empleando sistema de tratamiento / # usuarios entrevistados	
Calidad del agua	Turbiedad	<10 NTU
	% muestras > valor definido por <i>E. coli</i> /por 100 ml	
Capacitaciones	calidad del agua en la vivienda y prácticas de almacenamiento	Buenas
	capacitaciones al fontanero, vigilante y comunidad	si
	existencia de un manual de agua disponible a nivel comunitario	si
	# usuarios capacitados	
	# días de capacitación / 365	
	participantes / sesión de capacitación	
	frecuencia de las capacitaciones de refuerzo	

Tabla de indicadores en proyectos de saneamiento (I). Fuente: ESF

Aspecto	Indicador	Nivel deseado
Diseño adecuado	# letrinas con pérdidas	0
	# puntos con pérdidas en el sistema de cunetas / km de cunetas	0
Operación y mantenimiento	# letrinas en funcionamiento / # letrinas	100%
	presencia de herramientas de trabajo	Si
	conservación de las herramientas de trabajo	Buena
	existen informes de incidencia y otros documento	Si
	reparaciones / año	
	% reparaciones solucionadas por la comunidad	
	% reparaciones solucionadas por organismos públicos	
	coste medio de operación y mantenimiento por usuario y comunidad	
	coste medio de operación y mantenimiento por fontanero y/o vigilante	
	accesibilidad de los recambios: distancia y tiempo	
	# reparaciones no llevadas a cabo debido a la falta de recambios	
	# recambios necesarios para el sistema de saneamiento de agua / año	

Tabla de indicadores en proyectos de saneamiento (II). Fuente: ESF

Aspecto	Indicador	Nivel deseado
Gestión del sistema	# usuarios endeudados / # usuarios	< 5%
	existen actas y otros documentos de las reuniones del Comité de Agua	Si
	existe un registro económico del proyecto, así como una cuenta corriente abierta (si es preciso)	si
	frecuencia de las reuniones del Comité de Agua	mensual
	rotación de los miembros del Comité de Agua	2 años
	frecuencia de las Asambleas de Usuarios	Trimestral
	# participantes en Asambleas / # usuarios	
	# decisiones tomadas en las Asambleas	
Género	# mujeres en el Comité / # miembros del Comité	50 %
	mayor participación de las mujeres en la toma de decisiones	
Viabilidad económica	ingresos mensuales / gastos mensuales	>1
Tarifa	tarifa mensual / ingreso familiar mensual	<3%
	cuota por familia	
Salud	mortalidad infantil por enfermedades transmitidas a través del agua	
	mortalidad infantil de menores de 5 años por enfermedades transmitidas a través del agua	
	tasa de enfermedades transmitidas a través del agua sin contar las 10 más habituales	

Tabla de indicadores en proyectos de saneamiento (III). Fuente: ESF

Aspecto	Indicador	Nivel deseado
Replicabilidad	ampliaciones del sistema de saneamiento realizados por la comunidad	si
	elementos del sistema mejorados por la comunidad	si
Satisfacción del usuario	% entrevistados con sentimiento de apropiación del proyecto (clasificado por grado de satisfacción)	
	% entrevistados satisfechos con el servicio (clasificados por grado de satisfacción)	
	% entrevistados satisfechos con el mantenimiento (clasificados por grado de satisfacción)	
	% entrevistados satisfechos con el Comité (clasificados por grado de satisfacción)	
Eficiencia	coste total del proyecto / # usuarios	
	coste unitario de la letrina	
	coste total del proyecto / cantidad de agua tratada al año	
	durada total del proyecto	
Apropiación	participación comunitaria en la formulación	
	participación comunitaria en la construcción	
	participación comunitaria en la financiación	

Tabla de indicadores en proyectos de saneamiento (IV). Fuente: ESF

15.7.4 Indicadores en programas de agua

Una buena parte de los indicadores de un programa es esencialmente el resultado de interpretar los de los proyectos incluidos en dicho programa.

Esto debe llevarse a cabo de forma adecuada, ponderando aquellos proyectos más significativos para poder obtener así unos valores medios y extremos de la intervención.

Por otro lado, también deben valorarse aquellos aspectos que tengan que ver con la interrelación de los actores implicados en todo el proceso: autoridades, comunidades, ONGs, etc.

15.8 Acceso a la información

15.8.1 Proceso de aprendizaje

Muchas veces se piensa que la evaluación sirve básicamente para:

- Verificar que las tareas mencionadas en la formulación se han llevado a cabo.
- Analizar si los objetivos planteados en la formulación han sido alcanzados y en qué grado.
- Evaluar la rentabilidad del proyecto (entendiendo rentabilidad como resultados obtenidos respecto al coste).
- Detectar posibles efectos no previstos debidos al proyecto.

Todo eso es correcto de algún modo, pero no es el objetivo principal.

Las evaluaciones sirven para aprender de los procesos llevados a cabo, de forma que, en futuros proyectos, los actores que intervengan puedan tomar mejores decisiones.

Las evaluaciones deben permitir mejorar la toma de decisiones en el futuro.

Así pues, es necesario transmitir la información generada en las evaluaciones.

15.8.2 Mejora de la evaluación

Es habitual que, además de las evaluaciones internas, exista una **evaluación final** realizada por un **actor externo** al proyecto. El equipo evaluador suele trabajar **contrarreloj** y debe prestar atención a muchísimos aspectos (de construcción, económicos, sociales, etc.).

La transmisión entre los distintos actores de la información recogida en la evaluación permite que estos puedan hacer comentarios que posteriormente se incluyan en la evaluación final.

Esto es de gran ayuda para los propios evaluadores al funcionar a modo de contraste.

15.8.3 ¿Quién debe recibir esa información?

Todos los actores que han intervenido en el proyecto deberían recibir información sobre el proceso, sus aspectos positivos y negativos. Esto incluye evidentemente a los propios beneficiarios.

15.8.4 ¿Qué información deben recibir?

En principio cada actor debería recibir al menos la información que sea relevante para sus futuras tomas de decisiones.

En la medida en la que se difunda la información, el proceso será más transparente y promoverá la confianza para futuros proyectos.

15.8.4 ¿Cómo llevarlo a cabo?

El proceso habitual es el siguiente:

- Toma de datos por parte del equipo evaluador.
- Emisión de un primer informe de evaluación con un esbozo de conclusiones finales.
- Transmisión de este informe a todos los actores para que hagan comentarios.
- Recogida de las apreciaciones por parte de los evaluadores.
- Emisión del informe de evaluación definitivo.

15.8.5 El informe final no es el último informe

Todas las evaluaciones tienen unos objetivos fijados en función de la utilidad que se les vaya a dar a las mismas.

Las evaluaciones no son procesos que cierren ningún ciclo, sino una interpretación de los datos recogidos en un momento concreto.

Así pues, siempre cabe la posibilidad de evaluar diversas veces un mismo proyecto en función de lo que se esté analizando; de hecho, así se suele hacer.

16. Agua y saneamiento en proyectos de desarrollo: Puntos críticos

Existen una serie de aspectos críticos en los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento que deben ser cuidados a lo largo de todo el proceso para evitar problemas futuros.

Estos puntos son:

- Viabilidad técnica.
- Viabilidad económica.
- Gestión del sistema.
- Capacitaciones.
- Integración de aspectos transversales.

16.1 Viabilidad técnica

La tecnología seleccionada debe ser apropiada al contexto en el que se encuentre el proyecto.

En principio se deben proyectar obras robustas, capaces de funcionar con poco mantenimiento.

16.2 Viabilidad económica

Toda solución analizada debe ir acompañada de un estudio de viabilidad económica que tenga en cuenta los siguientes factores:

- Capacidad de pago por parte de los beneficiarios.
- Gastos previstos de operación y fondo de mantenimiento.

En caso de que se llegue a la conclusión de que la solución estudiada no es viable económicamente, sólo queda una opción: plantear una solución más económica, aunque con menor nivel de servicio.

Habitualmente es difícil motivar a los beneficiarios para que paguen una cuota por emplear un sistema de saneamiento. Esto puede hacer peligrar el proyecto.

16.3 Gestión del sistema

La gestión del sistema incluye aspectos tan diversos como:

- Existencia de un comité de agua con capacidad de gestión.
- Establecimiento de un reglamento para el sistema de fácil gestión (nuevas incorporaciones, multas, etc.).
- Solución técnica que permita una gestión de cuotas sencilla.

16.4 Capacitaciones

La introducción de un sistema de abastecimiento de agua o de saneamiento en las vidas de los beneficiarios es algo que necesariamente implica una tarea fuerte de formación.

Es necesario capacitar tanto a los beneficiarios como al personal encargado de la operación y mantenimiento del sistema y al comité de agua.

16.5 Proyectos integrados

Difícilmente conseguiremos reducir la influencia de las enfermedades transmitidas por el agua si no planteamos soluciones integrales que incluyan:

- Abastecimiento de agua.
- Refuerzo de las unidades de salud.
- Sistema de saneamiento de aguas grises
- Protección de acuíferos.

16.6 Sostenibilidad: operación y mantenimiento

16.6.1 Principales problemas

La operación y el mantenimiento deficientes son uno de los principales motivos de fallo en muchos de los sistemas de agua tras un cierto tiempo.

Varias razones confluyen en el mal funcionamiento de los sistemas:

- Inadecuada participación de la comunidad durante la planificación del proyecto.
- Selección inapropiada de la tecnología y desconocimiento del sistema por parte de la comunidad.
- Carencia de fondos como consecuencia de un mal sistema de cobro de cuotas (gestión inadecuada y ausencia de reglamento de agua).
- Carencia de mantenimiento.
- Dificultad para encontrar recambios en la zona.

16.6.2 Sostenibilidad

Un sistema es sostenible cuando:

- Funciona durante mucho tiempo.
- Ofrece un nivel de servicio apropiado (calidad, cantidad, eficiencia, equidad, fiabilidad, salud...).
- Es gestionado por la comunidad.
- Los gastos de operación, mantenimiento, gestión y reparación quedan cubiertos por las cuotas.
- La operación y el mantenimiento se llevan a nivel local, excepto para reparaciones importantes.
- No afecta negativamente el medio ambiente.

16.6.3 Factores que contribuyen a la sostenibilidad y a una operación y mantenimiento efectivos

La sostenibilidad se basa en 4 factores relacionados entre sí: técnicos, comunitarios, ambientales y económicos.

Los factores **técnicos** que influyen en la operación de un sistema de agua son:

- Selección apropiada de la tecnología y su complejidad en términos de operación y mantenimiento.
- Capacidad para dar respuesta una determinada demanda y a un cierto nivel de servicio.
- Disponibilidad, accesibilidad y costes de los recambios y el mantenimiento.

Los factores **comunitarios** que influyen en la operación de un sistema de agua son:

- Capacidad para gestionar, mantener y reparar el sistema.
- Capacidad y voluntad de pago.
- Participación de todos los grupos sociales de la comunidad, tanto hombres como mujeres.
- Gestión llevada a cabo por un comité de agua responsable.
- Comportamientos individuales, domésticos y colectivos responsables con la higiene y el saneamiento.

Los factores **ambientales** que influyen en la operación de un sistema de agua son:

- Calidad de la fuente d'agua.
- Cantidad y estabilidad temporal de la fuente de agua.
- Control de la contaminación y adecuada gestión de las aguas residuales
- Impacto ambiental

Los factores **económicos** están implícitos en todos los factores anteriores.

16.6.4 Recambios

La cuestión de los recambios debe ser uno de los factores decisivos en la selección de la tecnología. Para ello hay que valorar lo siguiente:

- Necesidad de recambios para una determinada opción técnica.
- Accesibilidad de los recambios en la zona.
- Mejorar el diseño para reducir la necesidad de recambios.

De ahí nació la terminología **VLQM**, aplicable a las tecnologías apropiadas desde el punto de vista de la operación y el mantenimiento.

16.7 Gestión del sistema: comités de agua

16.7.1 Responsabilidad de la comunidad

Desde el principio, la comunidad es propietaria del sistema y, por lo tanto, debe estar preparada por su gestión.

La comunidad es responsable de:

- Operación, mantenimiento y reparación del sistema.
- Toma de decisiones respecto al sistema.
- Calidad del trabajo ejecutado.
- Funcionamiento del sistema.
- Selección de la tecnología a emplear (apoyada por los técnicos).
- Establecimiento de las normas, reglamentos y cuotas del sistema (apoyada por los técnicos).

16.7.2 Necesidad de un órgano de gestión

Todos los sistemas, ya sean de abastecimiento o saneamiento, deben contar con un comité de agua que lo gestione. Este comité suele trabajar bajo observación de la comunidad, normalmente mediante asambleas.

16.7.3 ¿Cuándo?

La comunidad debe elegir el comité de agua **antes de iniciar el proyecto**, ya que se deben tomar muchas decisiones antes y durante la construcción del sistema:

- Equipos de trabajos.
- Conflictos durante la construcción.
- Selección de la ubicación de las obras.

El comité de agua debería reunirse como mínimo una vez al mes, informando a la asamblea de sus decisiones.

16.7.4 Composición del comité

Habitualmente el comité de agua está compuesto por los siguientes cargos:

- Presidente o presidenta.
- Vice-presidente o vicepresidenta.
- Contable.
- Dos técnicos de operación y mantenimiento.

El comité debería estar formado por mujeres, al menos en un 50%.

La composición de estos comités no es rígida; a modo de comentario, se puede señalar:

- A veces los técnicos de operación y mantenimiento no están en el comité, sino que dependen de él.
- A veces, algunas comunidades deciden tener pequeños comités de agua por cada punto de consumo.

16.7.5 Remuneración

Habitualmente los miembros del comité no reciben dinero por su cargo, aunque en proyectos realmente grandes sería necesario pagar como mínimo al contable, pues su responsabilidad es elevada.

El sueldo del personal técnico de operación y mantenimiento del sistema varía de un proyecto a otro, dependiendo de la dedicación, la disponibilidad de fondos, etc.

16.8 Capacitaciones

16.8.1 Importancia

Las capacitaciones son uno de los factores claves para el éxito en un proyecto de agua.

La mayor parte de los problemas de operación, mantenimiento y gestión tienen su origen en unas capacitaciones inadecuadas, tanto desde el punto de vista técnico como de usuarios.

16.8.2 ¿Quién y cuándo?

Las capacitaciones se tienen que desarrollar en tres colectivos:

- Personal técnico.
- Comité de agua.
- Usuarios.

Y en tres etapas:

- Antes de la construcción.
- Durante la construcción.
- Una vez finalizada la construcción.

El propio proceso de toma de decisiones con relación al proyecto (selección de la tecnología, elección del comité de agua, establecimiento del reglamento) puede ser considerado como una capacitación.

16.8.3 Personal técnico

Las capacitaciones técnicas se deben completar antes de entregar el sistema a los beneficiarios y debe incluir aspectos como:

- Sustitución de elementos del sistema.
- Limpieza de los puntos de agua.
- Reparaciones sencillas (sellado de una bomba manual).
- Dosificación de cloro.

- Mantenimiento de una bomba motorizada.
- Limpieza de filtros de arena.
- Correcto funcionamiento de las plantas de tratamiento.

Realizarlo **durante el periodo de construcción** resulta lo más efectivo. Para ello es necesario seleccionar este personal en la primera fase del proyecto.

Estas capacitaciones las debe llevar a cabo:

- Personal técnico de la contraparte.
- Suministradores de material específico (bombas, filtros, etc.).

Es muy recomendable dejar algún manual técnico en la comunidad que pueda servir como herramienta de consulta.

16.8.4 Comité de agua

El comité de agua debe recibir capacitación en diversos aspectos puesto que gestionará el sistema:

- Contabilidad (contabilidad básica, cobro de cuotas...).
- Resolución de conflictos.
- Gestión (elaboración de informes y actas, convocatorias de reuniones y asambleas...).
- Aplicación del reglamento (horarios, sanciones...).

Es muy importante que las capacitaciones se hagan **antes y durante la construcción**, para ir ganando tiempo, ya que en la fase de ejecución el comité tiene muchas tareas.

16.8.5 Beneficiarios

La introducción de un sistema de abastecimiento de agua o de saneamiento en una comunidad es un hecho que varía sustancialmente los hábitos de los beneficiarios. Asumir esta nueva situación no es fácil, por lo que se requerirá un programa de capacitación bastante intensivo:

- Higiene básica.
- Gestión del agua en la vivienda.
- Saneamiento básico.
- Importancia del bosque, el ciclo del agua...

Es recomendable que el promotor de salud deje algunos manuales en la comunidad.

Cuando se realizan capacitaciones nuevas (no de refuerzo) en una comunidad en la que ya se entregó el sistema, los niveles de implicación y asistencia suelen ser considerablemente menores.

16.9 Proyectos integrados: agua, saneamiento, salud y medio ambiente

16.9.1 Abastecimiento y saneamiento

Siguiendo el conocido principio de la conservación de masa, no se debe olvidar que, siempre que se introduzca agua en una comunidad, se debe prever su salida.

Así pues, todos los proyectos de abastecimiento deben prever inexcusablemente una solución, simple o compleja, para dar salida controlada al agua.

Por otro lado, si el proyecto de abastecimiento tiene como objetivo mejorar las condiciones sanitarias en la zona y reducir el impacto en la población de las enfermedades transmitidas a través del agua, es fundamental integrarlo con actuaciones en materia de saneamiento. De no ser así, no se conseguirá el objetivo.

Para asegurar la efectividad de un proyecto de pozos excavados suele ser necesario mejorar el número y la calidad de las letrinas en la zona.

Todos los proyectos de abastecimiento de agua deben considerar el tratamiento de las aguas residuales y prevenir el estancamiento de agua, por lo menos en un nivel básico.

16.9.2 Salud

Los proyectos de agua suelen ir enfocados a la mejora de las condiciones sanitarias en la zona. Para ello es necesario que los proyectos integren como parte sustancial la formación en materia de salud e higiene.

16.9.3 Medio ambiente

A pesar de que este curso se refiera únicamente a sistemas de abastecimiento y saneamiento de agua, es obligatorio recordar que esta clase de proyectos se debe integrar siempre con los aspectos ambientales.

Todos los proyectos de abastecimiento de agua deben considerar algunos factores para garantizar la permanencia en el tiempo de la cantidad de agua necesaria.

El objetivo es aumentar la zona de recarga y el tiempo de permanencia del agua superficial en el suelo, de modo que aumente la cantidad infiltrada y, por tanto, la cantidad de agua almacenada en el acuífero.

El desarrollo de un manantial requiere la correcta protección de la zona de recarga

La topografía desempeña un papel importante en controlar la tarifa de la recarga.

Algunas técnicas para la mejora de la infiltración son:

- Ejecución de terrazas en el terreno.
- Protección de la zona de recarga con un vallado apropiado.

17. Agua y saneamiento en actuaciones de emergencia

17.1 Objetivo

Asegurar que las personas en las comunidades afectadas por desastres tengan acceso a agua sanitariamente segura, disposición adecuada de excrementos, aguas negras, basuras y acceso a mensajes claves para la higiene.

17.2 Situación especial

Pretender actuar con la misma visión con la que se actúa en contextos de desarrollo sería un error, puesto que las características de estas situaciones son especiales:

- Situación imprevista que rompe con los procesos de desarrollo en marcha.
- Necesidades vitales de la población afectada no siempre cubiertas.
- Premura en el tiempo.

17.3 Primeros momentos

Evidentemente, la respuesta debe ser rápida, ya que normalmente la población se encuentra en una situación de riesgo insostenible.

En **abastecimiento**, se debe asegurar que la población reciba el agua necesaria para **subsistir** en primera instancia.

En **saneamiento**, el objetivo en el primer momento es **evitar la proliferación de epidemias**.

17.4 Situación estabilizada

Las situaciones de emergencia se suelen prolongar, aunque con menor intensidad, durante meses o incluso años. Por ello es necesario plantear actuaciones que aseguren un nivel de servicio adecuado a las circunstancias.

En **abastecimiento**, se deben plantear sistemas que **aseguren la cantidad y calidad** del agua suministrada.

En **saneamiento**, la situación estabilizada es aquella en la que se asegura la **evacuación de los residuos sólidos y líquidos** mediante letrinas mejoradas, sistemas de cunetas, etc.

La característica principal de las actuaciones de emergencia es una menor preocupación en cuanto a la sostenibilidad de las soluciones adoptadas.

17.5 Problemática específica

Los sistemas de abastecimiento y saneamiento de agua están expuestos a fenómenos naturales y antrópicos (producidos por el hombre), que en América Latina y el Caribe se presentan con mucha frecuencia.

Como nadie ignora, los sistemas de agua y saneamiento son de vital importancia para la salud y desarrollo de las poblaciones, por lo que es prioritario que los servicios se brinden en condiciones óptimas, ya que si éstos se deterioran pueden generarse problemas de salud que afectan a la mayoría de la población.

La siguiente tabla nos muestra los efectos e intensidades provocados por los eventos adversos:

	Terremoto	Erupción volcánica	Deslizamiento	Huracán	Inundación	Sequía
Fallos estructurales en la infraestructura de los sistemas	000	0	000	000	000	0
Ruptura de tuberías	000	0	000	00	000	0
Obstrucción de captaciones, desarenadores, plantas de tratamiento y tuberías de conducción	0	000	00	00	000	0
Contaminación biológica y química de las aguas para abastecimiento	00	000	0	000	000	0
Reducción cuantitativa de la producción de las fuentes de agua para abastecimiento	00	00	0	0	0	000
Interrupción del servicio eléctrico, comunicación y vías de acceso	000	0	00	000	00	00
Escasez de personal	000	00	00	00	00	0
Escasez de equipo, repuestos y materiales	000	0	00	000	000	0

Simbología: Afectación alta 000 Afectación moderada 00 Afectación mínima 0

Efectos e intensidades de los eventos adversos. Fuente: Emergencias y desastres en sistemas de agua potable y saneamiento: Guía para una respuesta eficaz. Organización Panamericana de la Salud, Washington DC, 2001

Desastres naturales: posibles efectos en los sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado

Terremotos

- Destrucción total o parcial de las estructuras de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución.
- Roturas de tuberías de conducción y distribución, daños en las uniones entre tuberías o con tanques, con la consiguiente pérdida de agua.
- Interrupción del fluido eléctrico, de las comunicaciones y vías de acceso.
- Modificación de la calidad del agua cruda debido a deslizamientos.
- Variación (disminución) de caudal de las captaciones subterráneas y superficiales.
- Cambio de sitio de salida de aguas de manantiales o de nivel de capa freática.
- Daños por inundación costa adentro por impacto de *tsunamis*.
- Introducción de agua marina en acuíferos costeros.

Erupciones volcánicas

- Destrucción total de las instalaciones en las áreas de influencia directa de los flujos, generalmente restringidas al cauce de los drenajes que nacen en el volcán.
- Obstrucción por las cenizas en obras de captación, desarenadores, tuberías de conducción, floculadores, sedimentadores y filtros.
- Modificación de la calidad del agua en captaciones superficiales y en reservorios abiertos por caída de cenizas.
- Contaminación de ríos, quebradas y pozos.
- Destrucción de caminos de acceso a los componentes y líneas de transmisión de energía eléctrica y comunicación.
- Incendios.
- Falla de estructuras civiles por acumulación de cenizas.

Deslizamientos

- Cambios en las características físico/químicas del agua cruda que dificultan su tratamiento.
- Destrucción total o parcial de todas las obras, en especial las de captación y conducción ubicadas sobre o en la trayectoria de deslizamientos activos.
- Contaminación del agua en las áreas de captación superficial de zonas montañosas.
- Impactos indirectos por la suspensión de caminos, servicio eléctrico y comunicaciones.
- Taponamiento de los sistemas de alcantarillado por acumulación de lodo y piedras.

Huracanes

- Daños parciales o totales en las instalaciones, puestos de mando y edificaciones, tales como rotura de vidrios, techos, inundaciones, etc.
- Roturas de tuberías debido a torrentes en pasos expuestos, como ríos y quebradas.
- Roturas y desacoples de tuberías en zonas montañosas, debido a deslizamientos y torrentes de agua.
- Roturas y daños en tapas de tanques y reservorios.
- Daños en sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica.

Inundaciones

- Destrucción total o parcial de captaciones localizadas en ríos y quebradas.
- Daños en estaciones de bombeo cercanas a cauces.
- Azolve y colmatación de componentes por arrastre de sedimentos.
- Pérdida de captación por cambio de cauce del afluente.
- Rotura de tuberías expuestas en pasos de ríos y quebradas.
- Contaminación del agua en las cuencas.
- Suspensión de energía eléctrica, corte de caminos y comunicaciones.
- Introducción de agua marina en los acuíferos continentales, lo que implica la disminución de agua subterránea o su contaminación.

Sequías

- Pérdida o disminución de caudal de agua superficial o subterránea.
- Disminución de los niveles de agua en las zonas de captación.
- Necesidad de suministro de agua mediante camiones cisterna, con la consiguiente pérdida de calidad y aumento de costos.
- Abandono del sistema.
- Acumulación de materia sólida en los sistemas de alcantarillado.

17.6 Objetivos mínimos

17.6.1 Abastecimiento

Prioridad de la cantidad sobre la calidad

En situaciones de emergencia, el primer objetivo es abastecer a la población con una cantidad de agua suficiente, aunque ello implique no cumplir los estándares de calidad deseados.

La siguiente tabla muestra algunos parámetros a seguir:

	Valor	Unidades
Cantidad		
Bebida + Cocina + Higiene	15	l / hab · día
Centros Nutricionales	30	l / hab · día
Centros de Salud	50	l / hab · día
Animales pequeños (cabras, ovejas)	20	litros / cabeza / día
Animales grandes (burros, vacas)	25	litros / cabeza / día
Calidad		
Coliformes en 100 ml	<10	ud
Resultado encuesta sanitaria sobre posible contaminación fecal	Riesgo bajo	-
Cloro residual libre (cloración del agua) ^{*1}	0.2-0.5	mg/l
Turbidez menor a 5 NTU	<5	NTU
Sólidos disueltos totales	<1000	mg/l
Conductividad	<2000	µs/cm
Parámetros físico químicos ^{*2}	OMS	OMS
Acceso		
Distancia al punto de agua	<500	m
Tiempo al punto de agua	<30	min
Número de personas por punto de agua		
pozo	500	personas
grifo	200	personas

*1 Cloración necesaria para poblaciones > 10000 hab; riesgo alto de epidemias; índice elevado de diarreas

*2 Valorar los efectos sobre la salud de cada parámetro. Descartar únicamente aquellas aguas que sean peligrosas a corto plazo (situación de emergencia).

Parámetros de diseño en situaciones de emergencia: Abastecimiento. Fuente: Adaptación de Water & Sanitation. Emergency Module. Acción Contra el Hambre

17.6.2 Saneamiento

Prioridad de la evacuación sobre el tratamiento

En situaciones de emergencia, el primer objetivo es **evitar la proliferación de epidemias en la población**, lo que significa dar salida a las aguas grises, aunque no sea posible cumplir los estándares de calidad deseados.

La siguiente tabla muestra algunos parámetros a seguir:

	Valor	Unidades
Áreas de defecación		
Distancia al punto de agua más cercano	>50	m
Espacio necesario para cada 100 personas	2.5x0.3x1.0	m
Letrinas		
Capacidad de una letrinas comunitarias	50	personas
Capacidad letrina familiar	1	familia
Distancia al punto de agua más cercano	>50	m
Distancia a la vivienda más cercana	>50	m
Aguas grises		
Evacuación de aguas grises	solventada	-
Depuración de aguas grises	deseable	-
Aseo		
Capacidad de un lavadero	500	personas
Jabón	250	gr/persona mes

Parámetros de diseño en situaciones de emergencia: Saneamiento. Fuente: Adaptación de *Water & Sanitation. Emergency Module. Acción Contra el Hambre*

17.7 Respuesta rápida

En condiciones de emergencia, la necesidad de una respuesta rápida resulta evidente, puesto que los beneficiarios se encuentran en situación de riesgo inminente.

17.7.1 Preparación

Es necesario conocer de antemano las zonas de riesgo, los impactos potenciales de fenómenos naturales.

Igualmente importante resulta conocer los actores (nacionales, locales, internacionales) implicados en una respuesta rápida y sus respectivas capacidades. ¿Existe un plan institucional local o nacional de gestión de desastres?

Para ello es recomendable:

- Organizar y mantener un sistema de alerta (servicios de meteorología, prensa, etc.).
- Tener vigente un plan de contingencia (organización de equipos, repartición de tareas, material listo) y actualizarlo periódicamente.

17.7.2 Coordinación

La coordinación tiene como propósitos obtener una buena eficacia y eficiencia de la asistencia suministrada, también y a través de los contactos institucionales, suministrar datos para ayudar a la definición de las políticas de ayuda internacional y de financiación de ésta.

17.7.3 Eficacia

Con el fin de mejorar el resultado de la intervención, es preciso definir las tareas a ejecutar **durante las primeras 72 horas:**

- Asegurar la desinfección del agua (proporcionar cloro e instrucciones detalladas de cómo usarlo a nivel local y para manejo de agua hervida)
- Proveer herramientas para mover derrumbes y facilitar la disposición segura de excrementos y basuras.
- Difusión de mensajes educativos e instrucciones de construcción de letrinas.
- Provisión de recipientes de agua (recipientes plásticos y mensajes de manejo de agua purificada).
- Provisión de jabón y difusión de mensajes claves de higiene.
- Activar las redes sociales, especialmente de mujeres, para la atención de las emergencias.

17.8 Respuesta adaptada

Una vez pasada la urgencia de las primeras 72 horas, hay que tener en cuenta que la situación se puede alargar durante días, meses o incluso años.

17.8.1 Estabilización de la emergencia

Es necesario llevar a cabo las tareas necesarias para transformar la situación de emergencia en una situación semi-estable. Para ello se deberá:

- Realizar una evaluación completa de la situación de los servicios de agua, saneamiento y educación sanitaria.
- Asegurar la desinfección del agua en el 100% de las poblaciones afectadas por la emergencia.
- Apoyar la construcción de mecanismos para la disposición adecuada de excrementos que aseguren seguridad y privacidad a las personas afectadas.
- Reforzar la optimización de los sistemas de abastecimiento de agua de las comunidades afectadas (incluye ampliaciones y mejoras de los servicios).
- Proveer tanques para almacenamiento de agua en escuelas y centros de salud y recreativos.
- Realizar acciones para la adecuada disposición de aguas negras y aguas de lluvia en las zonas afectadas.
- Proteger los sistemas de abastecimiento de agua por cambios estacionales, preparación para la época de cólera, etc.
- Expandir las instalaciones para higiene (pilas para lavado de ropa, etc.).

17.8.2 Implicación de los beneficiarios

Quizás por la urgencia implícita a las situaciones de emergencia, se ha cometido el error durante muchos años de no contar excesivamente con la colaboración de la población afectada.

En aquellas zonas en las que las emergencias son habituales (inundaciones, hambrunas, etc.), es imprescindible que las contrapartes cuenten con un plan de acción en caso de emergencia, coordinado con la población local.

Si se presenta una emergencia en una región en la que las contrapartes no cuentan con ese tipo de planes, una vez pasadas las primeras horas de la emergencia, es imprescindible establecer programaciones consensuadas con los representantes sociales de la población.

En la medida que los beneficiarios se impliquen en el proceso de definición de prioridades, selección de alternativas técnicas, etc., la situación de emergencia podrá estabilizarse más rápidamente.

Conclusiones

En este módulo se han presentado los principales aspectos referentes a la ingeniería aplicada al abastecimiento y saneamiento de aguas en el ámbito de los proyectos de cooperación al desarrollo.

Las aportaciones más destacables relativas a cada una de las seis partes que constituyen el módulo son las que a continuación se reseñan.

Contexto tecnológico específico

- Es necesario poseer unos conceptos mínimos de Hidrología e Hidráulica para poder afrontar con garantías una actuación de abastecimiento de agua o saneamiento.
- La Hidrogeología es un campo de conocimiento tan específico que normalmente es necesario contar con un especialista en la materia si se pretende realizar, por ejemplo, un pozo profundo.

Acceso al agua y desarrollo humano

- El agua está directamente vinculada al desarrollo humano: salud, producción, fuente de conflicto.
- Las actuaciones enmarcadas en un programa tienen mayores posibilidades de ser sostenibles que los proyectos a escala local.
- La gestión de los sistemas de agua puede ser pública, privada o mixta. Hay defensores y detractores, con sus argumentaciones, de cada uno de estos esquemas de gestión.

Abastecimiento de agua en comunidades en desarrollo

- Los parámetros de diseño en proyectos de abastecimiento de agua distan bastante de los estándares del Primer Mundo.
- Las soluciones técnicas deben estar basadas en tecnologías apropiadas, con un mantenimiento sencillo para asegurar la sostenibilidad técnica de los proyectos.

Tratamiento de aguas residuales en comunidades en desarrollo

- Las soluciones autónomas de tratamiento de aguas se pueden plantear de forma conjunta con un proyecto de abastecimiento de agua. Son adecuadas para zonas con densidades bajas de población.
- Las soluciones colectivas de tratamiento implican proyectos de cierta envergadura y son apropiadas para zonas con densidades elevadas de población.

Agua y saneamiento en proyectos de desarrollo

- Los proyectos de agua y saneamiento requieren una gestión adecuada: capacitaciones, reglamentación, gestión de cuotas, etc.

Agua y saneamiento en actuaciones de emergencia

- Debido a las características especiales de las situaciones de emergencia, los proyectos de agua y saneamiento se deben afrontar con unos estándares de diseño menores.
- Las prioridades son proporcionar agua suficiente para subsistir y evitar la proliferación de epidemias.

Ejercicios de Autoevaluación

Se presenta a continuación un ejercicio de preguntas y respuestas que ayuden a valorar la evolución del propio aprendizaje durante este módulo. Escoge la respuesta correcta:

1. Nivel piezométrico y nivel freático...

- a) ... se refieren al mismo concepto.
- b) ... no coinciden nunca.
- c) ... si coinciden, el pozo que realicemos no será surgente.

2. Deseo medir la cantidad de lluvia en una zona durante 3 días. En la zona llueve por las noches y durante el día hace sol. Para ello coloco un barreño (con paredes perfectamente verticales) en una zona libre de árboles y al cabo de 3 días regreso y mido los milímetros de agua que hay en el barreño.

- a) La medida en milímetros coincide con la precipitación en l/m² caída en la zona.
- b) La medida en milímetros es mayor que la precipitación en l/m² caída en la zona.
- c) La medida en milímetros es menor que la precipitación en l/m² caída en la zona.

3. Al reducir el diámetro de una tubería...

- a) ... aumentará la velocidad y se reducirán las pérdidas.
- b) ... disminuirá la velocidad y se reducirán las pérdidas.
- c) ... aumentará la velocidad y aumentarán las pérdidas.
- d) ... disminuirá la velocidad y aumentarán las pérdidas.

4. La ecuación de Manning de flujo en lámina libre...

- a) ... es aplicable en todas las situaciones en canales.
- b) ... es aplicable únicamente en tramos con pendientes inferiores a 2 %.
- c) ... no se puede aplicar a conductos circulares.
- d) Ninguna de las anteriores.

5. La sedimentación es un proceso...

- a) ... mediante el cual se extraen todas las partículas sólidas que hay en el agua.
- b) ... sencillo y barato que evita problemas potenciales en una instalación de agua.
- c) ... químico de tratamiento de aguas.

6. La desinfección con cloro...

- a) ... depende del tiempo de contacto y las características del agua a desinfectar.
- b) ... es el único método de desinfección efectivo.

7. Los procesos biológicos de tratamiento de aguas...

- a) ... son demasiado caros para ser aplicados en proyectos de cooperación.
- b) ... son una alternativa a los procesos físicos y químicos.
- c) ... consiguen reducir la cantidad de nutrientes presentes en el agua.

8. Sistemas autónomos de tratamiento de aguas:

- a) Todos los terrenos tienen aproximadamente la misma capacidad de tratamiento de aguas.
- b) El diseño de las letrinas está estandarizado y debería aplicarse siempre el mismo.
- c) Las fosas sépticas funcionan muy bien en zonas tropicales.

9. Las actuaciones en materia de abastecimiento de agua y saneamiento en situaciones de emergencia...

- a) ...se llevan a cabo una vez se han recogido los fondos mediante una campaña de sensibilización.
- b) ...priorizan la cantidad frente a la calidad de agua.
- c) ...plantean sistemas completos de saneamiento colectivo.

10. Para potenciar la sostenibilidad de un proyecto de abastecimiento de agua y/o saneamiento, es necesario...

- a) ...contar con una solución técnica altamente probada.
- b) ... que la ONG seleccione un comité de agua con las personas más preparadas de la comunidad.
- c) ... plantear un proyecto integral en el que se incluyan aspectos ambientales, sanitarios, etc.

11. Formulación y diseño de sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento:

- a) La formulación debe esbozar la solución técnica, mientras que el diseño debe describirlo con detalle.
- b) La propiedad de la fuente no tiene por qué estar resuelta en la fase de diseño.
- c) Es aceptable un proyecto que plantee puntos de agua a 30 minutos andando de algunos beneficiarios.

12. Implementación de proyectos de abastecimiento de agua y saneamiento:

- a) Las capacitaciones a nivel comunitario son absolutamente necesarias y se pueden realizar una vez finalizada la ejecución de las infraestructuras.
- b) La elección del comité de agua por parte de los beneficiarios debe realizarse antes de emprender las tareas de ejecución material del proyecto.
- c) La normativa del sistema debe estar aceptada antes del comienzo de los trabajos de ejecución material.

Solucionario

1. Nivel piezométrico y nivel freático...

- a) ... se refieren al mismo concepto.
- b) ... no coinciden nunca.
- c) **... si coinciden, el pozo que realicemos no será surgente.**

2. Deseo medir la cantidad de lluvia en una zona durante 3 días. En la zona llueve por las noches y durante el día hace sol. Para ello coloco un barreño (con paredes perfectamente verticales) en una zona libre de árboles y al cabo de 3 días regreso y mido los milímetros de agua que hay en el barreño.

- a) La medida en milímetros coincide con la precipitación en l/m² caída en la zona.
- b) La medida en milímetros es mayor que la precipitación en l/m² caída en la zona.
- c) **La medida en milímetros es menor que la precipitación en l/m² caída en la zona.**

3. Al reducir el diámetro de una tubería...

- a) ... aumentará la velocidad y se reducirán las pérdidas.
- b) ... disminuirá la velocidad y se reducirán las pérdidas.
- c) **... aumentará la velocidad y aumentarán las pérdidas.**
- d) ... disminuirá la velocidad y aumentarán las pérdidas.

4. La ecuación de Manning de flujo en lámina libre...

- a) ... es aplicable en todas las situaciones en canales.
- b) ... es aplicable únicamente en tramos con pendientes inferiores a 2 %.
- c) ... no se puede aplicar a conductos circulares.
- d) **Ninguna de las anteriores.**

5. La sedimentación es un proceso...

- a) ... mediante el cual se extraen todas las partículas sólidas que hay en el agua.
- b) **... sencillo y barato que evita problemas potenciales en una instalación de agua.**
- c) ... químico de tratamiento de aguas.

6. La desinfección con cloro...

- a) ... **depende del tiempo de contacto y las características del agua a desinfectar.**
- b) ... es el único método de desinfección efectivo.

7. Los procesos biológicos de tratamiento de aguas...

- a) ... son demasiado caros para ser aplicados en proyectos de cooperación.
- b) ... son una alternativa a los procesos físicos y químicos.
- c) ... **consiguen reducir la cantidad de nutrientes presentes en el agua.**

8. Sistemas autónomos de tratamiento de aguas:

- a) Todos los terrenos tienen aproximadamente la misma capacidad de tratamiento de aguas.
- b) El diseño de las letrinas está estandarizado y debería aplicarse siempre el mismo.
- c) **Las fosas sépticas funcionan muy bien en zonas tropicales.**

9. Las actuaciones en materia de abastecimiento de agua y saneamiento en situaciones de emergencia...

- a) ...se llevan a cabo una vez se han recogido los fondos mediante una campaña de sensibilización.
- b) **...priorizan la cantidad frente a la calidad de agua.**
- c) ...plantean sistemas completos de saneamiento colectivo.

10. Para potenciar la sostenibilidad de un proyecto de abastecimiento de agua y/o saneamiento, es necesario...

- a) ...contar con una solución técnica altamente probada.
- b) ... que la ONG seleccione un comité de agua con las personas más preparadas de la comunidad.
- c) ... **plantear un proyecto integral en el que se incluyan aspectos ambientales, sanitarios, etc.**

11. Formulación y diseño de sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento:

- a) **La formulación debe esbozar la solución técnica, mientras que el diseño debe describirlo con detalle.**
- b) La propiedad de la fuente no tiene por qué estar resuelta en la fase de diseño.
- c) Es aceptable un proyecto que planteé puntos de agua a 30 minutos andando de algunos beneficiarios.

12. Implementación de proyectos de abastecimiento de agua y saneamiento:

- a) Las capacitaciones a nivel comunitario son absolutamente necesarias y se pueden realizar una vez finalizada la ejecución de las infraestructuras.
- b) La elección del comité de agua por parte de los beneficiarios debe realizarse antes de emprender las tareas de ejecución material del proyecto.**
- c) La normativa del sistema debe estar aceptada antes del comienzo de los trabajos de ejecución material.

Glosario

Acetogénesis

Los compuestos orgánicos sencillos generados en la etapa de **hidrogénesis** son utilizados por las bacterias generadoras de ácidos. Como resultado se produce su conversión en ácidos orgánicos volátiles, fundamentalmente en ácidos acético, propiónico y butírico. Esta etapa la pueden llevar a cabo bacterias anaerobias o facultativas.

Hay una gran variedad de bacterias capaces de efectuar la etapa de formación de ácidos y, además, esta conversión ocurre con gran rapidez. Dado que estos productos del metabolismo de las bacterias formadoras de ácido o acidogénicas están muy poco estabilizados en relación con los productos de partida, la reducción de DBO5 o DQO en esta etapa es pequeña.

Acuífero

Estrato o formación geológica que, permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que las personas puedan aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades.

Acuífero confinado

Acuífero en el que el agua está sometida a una cierta presión, superior a la atmosférica, y ocupa la totalidad de los poros. También llamado cautivo o a presión.

Acuífero libre

Acuífero en el cual existe una superficie libre del agua encerrada en él que está en contacto directo con el aire y, por lo tanto, a presión atmosférica. También llamado no confinado o freático.

Acuífero semicautivo

Caso particular de acuífero confinado en el que la capa superior (techo) o la inferior (muro) no es totalmente impermeable, sino un acuitardo. También llamado semiconfinado.

Agua residual

Fracción líquida de los residuos generados por una comunidad, una vez ha sido contaminada por los distintos usos para los cuáles se ha empleado.

Alcalinidad

Capacidad de un agua para amortiguar cambios de pH cuando le añadimos un ácido o una base; o bien, diferencia entre cargas catiónicas y aniónicas libres en el agua.

Alerta

Tiempo previo al posible impacto de un evento adverso sobre una población o un sistema determinado.

Amenaza

Factor de riesgo externo, representado por el peligro latente de que un fenómeno físico de origen natural o antrópico se manifieste produciendo efectos adversos a las personas, a los bienes y al ambiente.

BOT, BOOT

Del inglés BOT (Build, Operate, Transfer). Sistema de gestión empleado generalmente para grandes instalaciones que requieren inversiones muy importantes como las plantas de tratamiento de aguas. El operador privado debe financiar, construir, operar y mantener la instalación por un tiempo específico (más de 20 años) antes de transferir la instalación de nuevo a la autoridad pública.

Variaciones: BOOT (construir, poseer, operar, transferir) y BOO (construir, poseer, operar).

Balance hidrológico

Aplicación de la conservación de la masa de agua existente en nuestro planeta en su totalidad (océanos, ríos, subterráneas, etc.). En Hidrología este balance se limita a las fases no gaseosas correspondientes a una zona concreta y a un periodo de tiempo determinado.

Bomba manual de succión

En ella, el pistón y el cilindro se encuentran por debajo del nivel de agua. Debido a su dependencia de la presión atmosférica (unos 10 mca), la bomba de succión permite extraer un caudal bastante importante hasta profundidades de 7 m, viéndose reducida esta profundidad hasta los 4 m en las zonas altas.

Además, no se puede utilizar cuando el nivel freático baja. Las bombas de succión son simples de instalar y mantener.

Ciclo hidrológico

Conjunto de procesos que sufre el agua de forma natural sobre la Tierra

Coagulación

Proceso por el cual se ayuda a las pequeñas partículas (coloides) suspendidas en el agua a sedimentar, mediante la adición de compuestos químicos que inducen a las partículas pequeñas (coloides) a formar grupos grandes (flóculos) de mayor peso, para su mejor sedimentación.

A las sustancias que se utilizan en este proceso se les llama coagulantes, de los cuales los más utilizados son las sales de aluminio o hierro, tales como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico y el sulfato férrico. Para la mezcla de los reactivos se utiliza la turbulencia creada por un vertedero, pero es conveniente disponer de un sistema que permita esta con rapidez.

Coefficiente de almacenamiento (S)

Volumen de agua liberado por una columna de acuífero de altura igual al espesor del mismo y de sección unitaria, al disminuir la presión una unidad. Adimensional.

Concesión

Sistema de gestión por el cual el operador privado toma la responsabilidad de la operación y mantenimiento del sistema, así como de la inversión; la propiedad de las instalaciones es compartida con la autoridad pública. Las concesiones suelen afectar a zonas bastante extensas (una ciudad o una región entera). Suelen extenderse por 25 - 30 años.

Conductividad eléctrica.

Capacidad que tiene un agua para transmitir corriente eléctrica debido a la presencia de iones.

Contrato de arrendamiento

Sistema de gestión por el cual el operador privado alquila las instalaciones de una autoridad pública y es responsable de la operación y el mantenimiento del sistema y del cobro de la tarifa. El arrendador compra el derecho al cobro y comparte así riesgos comerciales significativos. Generalmente estos contratos tienen una duración de 5-15 años.

Contrato de gestión

Sistema de gestión por el cual la autoridad pública transfiere la responsabilidad de la gerencia de una gama completa de actividades de un campo específico, como la operación y el mantenimiento. La remuneración se basa en los indicadores principales del funcionamiento.

La autoridad pública suele financiar el capital del trabajo y de inversión, y determina la política de la recuperación de coste. Normalmente, estos contratos tienen una duración de 3-5 años.

Contrato de servicios

Sistema de gestión por el cual la autoridad pública conserva la responsabilidad total de la operación y del mantenimiento del sistema, aunque contrata algunos servicios específicos. Los contratos de servicios duran 1-3 años e incluyen prestaciones tales como lectura, facturación y mantenimiento de la red.

Cooperativa

Sistema de gestión utilizado para algunos sistemas de abastecimiento o saneamiento en ciertas áreas de una ciudad o municipio (a menudo más pobre, informal). Utilizado a menudo en áreas rurales, junto con las ONGs.

Criterio de calidad

Relación científica en la que poder basarse para emitir un juicio sobre la idoneidad de la calidad de un agua para un uso determinado.

Cuenca hidrográfica

Zona física considerada habitualmente en Hidrología en la que no existen aportaciones superficiales ni subterráneas de otras áreas; o, lo que es lo mismo, aquella superficie en la cual todas las aguas fluyentes, tanto superficiales como subterráneas, llegan a desembocar en un mismo punto.

DBO5

Demanda bioquímica de oxígeno (en mg/l). Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer biológicamente la materia orgánica carbonácea. Se determina en laboratorio a una temperatura de 20° C y en 5 días.

DQO

Medida de la cantidad de oxígeno requerida para oxidar químicamente la materia carbonosa (orgánica) presente en el agua residual, utilizando como oxidantes el dicromato inorgánico o sales de permanganato en un ensayo de dos horas

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

Contenido de materia orgánica degradable de un agua expresado en términos del oxígeno disuelto consumido.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Contenido de materia orgánica en un agua degradable por medio de un agente químico fuertemente oxidante.

Dureza

Suma de cationes polivalentes de un agua.

Eficacia

Medida en que se logran o se espera lograr los objetivos de la intervención para el desarrollo, tomando en cuenta su importancia relativa.

Nota: Se utiliza también como medida agregada o juicio sobre el mérito o el valor de una actividad; es decir, el grado en el que una intervención ha logrado, o se espera que logre, sus principales objetivos pertinentes de manera eficaz, en forma sostenible y con un impacto institucional positivo en el desarrollo.

Eficiencia

Medida en que los recursos/insumos (fondos, tiempo, etc.) se han convertido económicamente en resultados.

Escorrentía subterránea

Es la descarga del acuífero, ya sea disperso en el cauce del río o concentrado en forma de manantiales. Proporciona el caudal base en los ríos en la época de estiaje.

Escorrentía superficial

Es el caudal que no entra al terreno, sino que resbala por él hasta las vías preferentes de drenaje.

Esquistosomiasis

Enfermedad causada por una tenia o larva que se encuentra con frecuencia en zanjas de riego y en aguas de río estancadas.

Evapotranspiración

Es la utilización de agua por parte de las plantas y la evaporación del suelo. Depende fundamentalmente de la presencia de agua en el suelo, de la temperatura del aire, de la radiación solar y del viento.

Floculación

En el tratamiento del agua y de aguas residuales, aglutinación de materia en suspensión coloidal y finamente dividida después de la coagulación producida mediante agitación suave por medios mecánicos o hidráulicos.

En el tratamiento biológico de aguas residuales, que no usa coagulación, la aglutinación puede lograrse en forma biológica.

Una vez desestabilizadas las partículas, comienza la fase de agregación al entrar en contacto unas con otras. Existen varios mecanismos:

*Difusión browniana: el propio movimiento térmico de las partículas (floculación pericinéctica). Para partículas menores de una micra (al comienzo del proceso).

* Efecto mecánico. El movimiento del fluido y el movimiento de caída propio de las partículas favorece las colisiones (floculación ortocinéctica).

* Sedimentación. Con independencia de la finalidad del tratamiento, la separación de partículas en suspensión constituye una etapa previa o final en los procesos en que se precise eliminar o recuperar sólidos de un líquido.

Flujo de retorno o rezume

Es el caudal que, tras un cierto recorrido por el suelo, reaparece en superficie, especialmente en zonas de alto grado de saturación.

Flujo subsuperficial

Es el caudal que discurre por los primeros metros de una sección vertical. Su movimiento es rápido (mayor que el del acuífero), debido a que la conductividad hidráulica es alta.

A menudo está formado por flujo saturado en acuíferos colgados que se forman como respuesta a un aguacero. En otros casos, el flujo se forma a través de las vías preferentes hechas por raíces desecadas o macroporos. Este componente del ciclo hidrológico es en

algunas cuencas la parte más importante, en volumen, del hidrograma de respuesta a una lluvia.

Golpe de ariete

Choque violento que se produce sobre las paredes de un conducto a presión, cuando el movimiento del líquido es modificado bruscamente

Hidrogeología

Investigaciones de la cantidad y calidad del agua subterránea, que es el agua presente bajo la tierra. Se trata de la interacción entre roca, suelo y agua.

Hidrología

Ciencia de la Naturaleza que estudia el agua dentro del planeta Tierra, tanto en los aspectos de ocurrencia como acumulación y circulación desde el punto de vista cualitativo, cuantitativo y estadístico.

Hidrosfera

Espacio en el que tiene lugar el ciclo hidrológico; se localiza entre los 15 Km. por encima de la superficie terrestre y 1 Km. por debajo.

Hidráulica

Parte de la mecánica que estudia el equilibrio y el movimiento de los fluidos.

Hidrólisis

Conversión de compuestos orgánicos complejos e insolubles en otros más sencillos y solubles en agua. Esta etapa es fundamental para suministrar los compuestos orgánicos necesarios para la estabilización anaerobia en forma que puedan ser utilizados por las bacterias responsables de las dos etapas siguientes.

Hietograma

Representación gráfica (intensidad-tiempo) de un episodio de lluvia.

Impacto

Efectos de largo plazo positivos y negativos, primarios y secundarios, producidos directa o indirectamente por una intervención para el desarrollo, intencionalmente o no.

Indicador

Variable cuantitativa o cualitativa que proporciona un medio simple y confiable de medir la consecución de un objetivo, reflejar los efectos debidos a una intervención, o facilitar la evaluación de la actuación de un agente del desarrollo.

Infiltración

Es la penetración de aguas superficiales en la matriz del suelo. Tiene como límite superior la capacidad de infiltración, que es el máximo caudal de agua por unidad de superficie que puede infiltrarse en un terreno dado, en función de la humedad que tenga en ese instante. Además de la humedad, la infiltración es función de la porosidad y permeabilidad del terreno.

Intercepción

No toda la precipitación alcanza la superficie del terreno, ya que una parte se vuelve a evaporar en su caída y otra es retenida por la vegetación y vuelve a la atmósfera, al poco tiempo, en forma de vapor. La intercepción se valora, en general, en pocos mm/año y es porcentualmente mayor cuanto menor es la precipitación.

Índice de biodegradabilidad

Cociente DQO/ DBO₅; indica la relación entre la capacidad química y biológica de degradación de un agua.

Línea base

Situación previa a la intervención de cualquier proyecto/programa. Una buena identificación de la línea base permite estimar por comparación los efectos de la actuación.

Malaria

Enfermedad transmitida por los mosquitos; se caracteriza por un extremo cansancio asociado con episodios de fiebre alta.

Manantial

Afloramiento natural de agua subterránea.

Metanogénesis

Conversión de los ácidos orgánicos generados en el proceso de **acetogénesis** en metano y dióxido de carbono. Este proceso es llevada a cabo por bacterias y genera burbujas en la laguna anaerobia.

Mitigación

Conjunto de medidas para aminorar o eliminar el impacto de las amenazas naturales mediante la reducción de la vulnerabilidad del contexto social, funcional o físico.

Norma de calidad

Límite, valor, concentración establecida por la autoridad competente con objeto de mejorar/mantener/promover la calidad del agua para un uso determinado. Las normas de calidad se deducen a partir de los criterios de calidad.

Operaciones Físicas Unitarias

Operaciones llevadas a cabo en el tratamiento de aguas residuales, en las que los cambios en las características y las propiedades del agua se realizan mediante la aplicación de fuerzas físicas.

Operaciones Químicas Unitarias

Operaciones llevadas a cabo en el tratamiento de aguas residuales, en las que los cambios en las características y las propiedades del agua se realizan mediante la aplicación de reacciones químicas.

Permeabilidad (k)

Facilidad con la que un material deja pasar el agua a su través. Se obtiene a través de la ecuación de Darcy. Se mide en m/día.

Pertinencia

Medida en que los objetivos de una intervención para el desarrollo son congruentes con los requisitos de los beneficiarios, las necesidades del país, las prioridades globales y las políticas de los asociados y donantes.

Nota: En retrospectiva, la cuestión de la pertinencia suele referirse a si los objetivos o el diseño de una intervención siguen siendo adecuados aún cuando hayan cambiado las circunstancias.

Período de retorno

Tiempo medio que tarda un suceso en ser superado.

Pluviómetro

Aparato que se utiliza para medir la cantidad de lluvia caída en una zona dada.

Poros

Espacios libres entre las partículas del suelo o de rocas sedimentarias

Porosidad eficaz (m)

Volumen de agua que se obtiene por drenaje gravitacional de una muestra de material permeable inicialmente saturado, en relación con el volumen total de la muestra. Adimensional.

Precipitación

El ciclo se inicia cuando una parte del vapor de agua de la atmósfera se condensa y da origen a precipitación en forma de lluvia, nieve o granizo.

pH

Logaritmo decimal con signo cambiado de la concentración de iones hidrógeno.

Retención superficial

Está formada por el agua que es retenida en superficie durante el aguacero en depresiones topográficas, ya sea en pequeñas hondonadas o en depresiones de mayor entidad, formando charcos. Finalmente, puede escurrir superficialmente o infiltrarse cuando cesa el aguacero.

Sostenibilidad

Continuación de los beneficios de una intervención para el desarrollo después de concluida. Probabilidad de que continúen los beneficios en el largo plazo. Situación en la que las ventajas netas son susceptibles de resistir los riesgos con el correr del tiempo

Transferencia

Sistema de gestión en el que tanto la propiedad como la gestión son responsabilidad del sector privado bajo un régimen regulador.

Transmisividad (T)

Capacidad de un medio para transmitir agua. Es el producto de la permeabilidad por el espesor del acuífero: $T=k \cdot b$

Turbiedad

Propiedad óptica de las aguas que se manifiesta por la dispersión de la luz provocada por la materia en suspensión (MES) que contiene.

VLOM

Operación y Mantenimiento a Nivel Comunitario (del inglés Village Level Operation and Maintenance). Una bomba recibe esta denominación cuando está adaptada a las necesidades de las comunidades locales en lo que se refiere a operación y mantenimiento.

Vulnerabilidad

Factor de riesgo interno que tiene una población, infraestructura o sistema expuesto a una amenaza, y que corresponde a su disposición intrínseca de ser susceptible a sufrir daños. La probabilidad de que se produzcan daños sobre un sistema por la acción de un fenómeno natural o antrópico será mayor cuanto más sea su intensidad y la vulnerabilidad del mismo, y viceversa.

Zona no saturada

Se ubica entre la superficie del terreno y la zona saturada o superficie freática. Se caracteriza por ser una zona que presenta partes saturadas y otras parcialmente saturadas que en ocasiones pierden el agua gravífica.

Bibliografía

Básica

Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales

Fair, Geyer & Okun, Noriega Limusa, 1968

Agua potable para poblaciones rurales – Sistemas de abastecimiento por gravedad y sin tratamiento

Agüero Pittman, Roger, Servicios Educativos Rurales SER, Perú, 1996

Community water development

Kerr, Intermediate Technology Publishing, 1989

Emergencias y desastres en sistemas de agua potable y saneamiento: Guía para una respuesta eficaz

Organización Panamericana de la Salud, Washington DC, 2001

Environmental Health Engineering in the tropics

Cairncross & Fechem, Wiley, 1993

Guía de educación en higiene para los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento ambiental comunitarios

Water and Sanitation Center, UNICEF

Guía para planificar las actividades de participación de la comunidad en proyectos de abastecimiento de agua y saneamiento

OMS, Publicación en offset n° 96, 1987

Hidrología en la ingeniería

Monsalve Sáenz, Alfaomega, México, 1999

Hidrología subterránea

Custodio, E, y Llamas, M.R., Omega, 1996

Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización

Metcalf & Eddy, McGrawHill, 1995

Mejoramiento de las condiciones de higiene del medio en los asentamientos de bajos ingresos. Identificación de necesidades y prioridades por la comunidad

OMS, 1988

Small community water supplies

WHO, Technical Paper Series, 1981

Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo

Schulz & Okun, Noriega Limusa, 1990

Complementaria

Abastecimiento y depuración de agua potable

Paz Maroto y Paz Casañé, ETSICCP, Madrid, 1969

Abastecimiento y distribución de agua

Hernández Muñoz, Aurelio, ETSICCPM, Madrid, 1987

Action speak: the study of hygiene behaviour in water and sanitation

Boot, Marieke T., IRC, 1993

A draft framework for emergency water and sanitation interventions.

World Vision UK, Milton Keynes, 1997

A guide to safe water in a flood.

Rowse, B. Learning for All, Frankston, VIC, Australia, 2000

A handbook of gravity-flow water systems

Jordan T.D. Jr., IT/Unicef, 1980

Alimentation en eau des populations menacées

Drouart, E., et Vouillamoz, J.M., Action Contre la Faim ACF, Hérmán Éditeurs des sciences et des arts, Paris, 1999

Basic water treatment for application worldwide

Smethurst, G., Thomas Telford Ltd.

Cholera and other epidemic diarrhoeal diseases control: technical cards on environmental sanitation

Institute of Water and Sanitation Development, Harare, ZW, IWSD, WHO, Geneva, 1997

<http://www.who.int/emc-documents/cholera/docs/whoemcdis976.pdf>

Disinfecting tube-well water: the evolution of a new technology.

Luff, R., and Hoque, E., Oxfam GB, Waterlines, vol. 16, no.2, 1997

Emergency water sources. Guideline for selection and treatment.

House, Sarah and Reed, Bob, WEDC.1997

<http://www.lboro.ac.uk/wedc/publications/ews.htm>

Emergency water supply

Shaw, R. and Reed, R., WEDC, Waterlines, vol.13, no.4, 1995

Environmental health engineering in the tropics.

Caincross, S. and Feachen,R., Jonh Wiley & Sons

Establishing water and sanitation programmes in conflict situations: the case of Iraq during Gulf war

Etienne, Yves and Nembrini P.Giorgio, Social and Preventive Medicine, vol.40 no.1 p.18-26, 1995

<http://www.icrc.org/eng/issues>

Field engineering: an introduction to development work and construction in rural areas

Stern, P., ITDG, 1983

Gender in water resource management, water supply and sanitation: roles and realities revisited

Wijk-Sijbesma, C. Von, IRC, 1988

Groundwater dams for small-scale water supply

Nilsson, A., IT/Lavoisier, 1998

Groundwater quality monitoring: practical guide for drinking water

SSD Forter, E&FN Spon, 2000

Guidelines and manual on land-use planning and practices in watershed management and disaster reduction

ESCAP, Bangkok, UN Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, 1997

Hydraulic ram pumps: A guide to ram pump water supply systems

Jeffrey, T.D. et al., IT, 1992

Hygiene Promotion: a practical manual for relief and development

Ferron, S., et al., CARE, New York, 2000, 250p.

Planificación para atender situaciones de emergencia en sistemas de agua potable y alcantarillado.

OPS, Cuaderno Técnico no. 37, Washington D.C., 1993

Rainwater harvesting: The collection of rainfall and runoff

Pacey, A./Cullis, A., ITDG, 1986

Rural water supply and sanitation

Morgan, P., Macmillan, Lavoisier, 1990

Some options for water treatment in disaster situations

Ellis, K.V., et al., Aqua, vol. 43, no. 6, 1994

Water Manual for refugee situations,
Programme & Technical Support Section, UNHCR, Geneva 1992

Water and sanitation for all: Partnerships and innovations
Pickford, J., ITDG, 1998

Enlaces de interés

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

<http://www.undp.org/spanish/>

Sitio web del PNUD. Entre otras cosas, se encuentra una descripción del programa, así como el acceso a diferentes publicaciones.

IRC Centro Internacional de Agua y Saneamiento

<http://www.irc.nl/>

IRC es una organización independiente sin ánimo de lucro de referencia en el área del agua y saneamiento.

EPANET

<http://www.idmh.upv.es/psoftware.html>

Programa gratuito de cálculo de redes a presión. Muy extendido por su fácil manejo.

ITDG : Intermediate Technology Development Group

<http://www.itdg.org/>

Organización de referencia en tecnología apropiada.

Informe Mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos de las Naciones Unidas

http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/index_es.shtml

Amplia reseña que traza periódicamente un panorama fidedigno de la situación de los recursos de agua dulce del planeta, y que tiene como objetivo ofrecer a los responsables políticos y administradores una herramienta para el uso sostenible de los recursos hídricos.

EcoIQ Water & Wastewater

<http://www.ecoiq.com/water>

Sitio web especializado en gestión ambiental

GARNET Global Applied Research Network

<http://www.lboro.ac.uk/departments/cv/wedc/garnet/grntover.html>

Red de intercambio de información sobre tecnologías de bajo coste para el abastecimiento de agua y saneamiento.

The Water Page

<http://www.thewaterpage.com/>

Iniciativa independiente dedicada a la promoción de la administración sostenible del recurso agua.

The World's Water

<http://www.worldwater.org/>

Información actualizada sobre todo lo relacionado con el agua.

World Bank Watsan Page

www.worldbank.org/html/fpd/water

Página del Banco Mundial sobre abastecimiento y saneamiento.

WSP: Programa de Agua y Saneamiento

<http://www.wsp.org/>

Asociación de agencias internacionales cuyo interés primordial es el sector del abastecimiento de agua y saneamiento.