



Centro Internacional de Referencia
para
Abastecimiento Público de Agua
de la OMS

Diciembre 1978

La Haya, Países Bajos

Filtración Lenta en Arena para
Abastecimiento Público de Agua
en Países en Desarrollo

Manual de Diseño y
Construcción



Publicado y distribuido por el
CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA
SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE

11

Serie Documentos Técnicos

255.1.78FI-18897

COMPENDIO

"Filtración Lenta en Arena para Abastecimiento Público de Agua en Países en Desarrollo, Manual de Diseño y Construcción".

Centro Internacional de Referencia de la OMS, para Abastecimiento Público de Agua, Voorburg (La Haya), Países Bajos, aprox. 210 p. Diciembre 1978.

La filtración lenta es una técnica excelente de bajo costo para la purificación de aguas superficiales contaminadas que puede usarse en los países tropicales en desarrollo. Los temas tratados en este manual de diseño y construcción incluyen los principios de filtración lenta en arena, su rendimiento y aplicabilidad, las técnicas adecuadas de pretratamiento para remoción de turbiedad, y pautas detalladas para diseño y construcción de pequeños filtros lentos de arena. El manual incluye cuatro diseños típicos, de filtro con capacidades que oscilan entre 25 y 960 m³/d, con los correspondientes planos de construcción y listas de materiales.

Descriptores: Tratamiento de agua de bajo costo, filtros lentos de arena, diseño de filtros lentos de arena, construcción de filtros lentos de arena, abastecimiento de agua en el medio rural, países en desarrollo, pretratamiento para filtros lentos de arena, ejecución de filtros lentos de arena, empleo de materiales de construcción locales para filtros lentos de arena.

UDC: 628.163.067 (035.5) (1-773)

Establecido en 1968 en el Instituto Nacional Neerlandés para Abastecimiento de Agua, en Voorburg (La Haya), el Centro Internacional de Referencia de la OMS para Abastecimiento Público de Agua (CIR) funciona en base a un convenio entre la Organización Mundial de la Salud y el Gobierno Holandés. En estrecho contacto con la OMS, el CIR opera como nexo de una red mundial de instituciones colaboradoras regionales y nacionales, tanto en países en desarrollo como en los industrializados.

El objetivo general del CIR es promover la cooperación internacional en el campo del abastecimiento público de agua.

Operando a manera de catalizador, el CIR trabaja estrechamente en unión con sus instituciones colaboradoras, así como con oficinas internacionales, entidades nacionales e individuos particulares.

Cualquier solicitud de información sobre el CIR, o consulta sobre problemas específicos, puede dirigirse al Centro Internacional de Referencia para Abastecimiento Público de Agua, Sector de Información, P.O. Box 140, 2260 AC Leidschendam, Países Bajos.

**CENTRO INTERNACIONAL DE REFERENCIA
PARA
ABASTECIMIENTO PUBLICO DE AGUA DE LA OMS**

**Filtración Lenta en Arena
para Abastecimiento Público de Agua
en Países en Desarrollo**

Manual de Diseño y Construcción

LIBRARY IRC
PO Box 93190, 2509 AD THE HAGUE
Tel.: +31 70 30 689 80
Fax: +31 70 35 899 64
BARCODE: 0897
I.O: 255.178 Fi

PREPARADO POR
J.C. VAN DIJK Y J.H.C.M. OOMEN

**DOCUMENTO TECNICO Nº 11
DICIEMBRE 1978**

NW. HAVENSTRAAT 6, 2272 AD VOORBURG (LA HAYA)
PAISES BAJOS

DIRECCION POSTAL
P.O. BOX 140, 2260 AC LEIDSCHENDAM, PAISES BAJOS

Este informe es publicado bajo la responsabilidad del Centro Internacional de Referencia de la OMS para Abastecimiento Público de Agua. No representa necesariamente las decisiones o la política oficial de la Organización Mundial de la Salud.

El Proyecto de Filtración Lenta en Arena es ejecutado bajo el patrocinio de la Dirección de Cooperación Técnica para el Desarrollo del Ministerio de Relaciones Exteriores del Gobierno de los Países Bajos.

Edición original en inglés:

SLOW SAND FILTRATION FOR
COMMUNITY WATER SUPPLY IN DEVELOPING COUNTRIES

WHO International Reference Centre for
Community Water Supply

Traducción al español: Ing. Andrés Bello
Ing. Edmundo Elmore

Coordinación editorial: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

	PREFACIO	9
1.	INTRODUCCION	12
2.	CONSUMO DE AGUA, CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA Y ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL AGUA	17
2.1	Consumo de agua	17
2.2	Criterios de calidad del agua y enfermedades relacionadas con el agua	19
3.	PRINCIPIOS DE FILTRACION LENTA EN ARENA	22
3.1	Introducción	22
3.2	Descripción de los elementos básicos de un filtro lento de arena	23
3.3	Principio del proceso de purificación	27
3.4	Rendimiento de los filtros lentos de arena .	29
3.5	Aplicabilidad y limitaciones de los filtros lentos de arena	32
3.6	Ventajas de los filtros lentos de arena	33
3.7	Operación y mantenimiento de filtros lentos de arena	34
3.8	Pretratamiento y postratamiento en combina- ción con filtros lentos de arena	42
3.9	Guía para seleccionar un sistema de trata- miento de agua	44

4.	DISEÑO DE PLANTAS DE FILTRACION LENTA CON ARENA	47
4.1	Introducción	47
4.2	Criterios generales de diseño	48
4.3	Ejemplo de diseño	51
4.4	Criterios de diseño	64
5.	CONSTRUCCION Y ESPECIFICACIONES DE LOS ELEMENTOS DE LAS PLANTAS DE FILTRACION LENTA EN ARENA	69
5.1	Dimensión y distribución de las unidades de filtración	69
5.2	Construcción de la caja de filtro	76
5.3	Estructura de la entrada	84
5.4	Estructura de la salida	86
5.5	Sistema de drenajes	89
5.6	Dispositivos de control del filtro	91
5.7	Unidades de pretratamiento y postratamiento..	95
5.8	Almacenamiento del agua filtrada	96
5.9	Disposiciones para tuberías y bombeo	98
6.	DISEÑOS TIPICOS DE FILTROS LENTOS DE ARENA	102
6.1	Filtro con taludes protegidos	102
6.2	Filtro circular de ferrocemento	105
6.3	Filtro circular de mampostería	106

CONTENIDO	página
6.4	Filtro rectangular de hormigón 107
6.5	Esquema de las plantas de tratamiento, de los cuatro diseños típicos 108
6.6	Capacidad de producción de los cuatro diseños típicos 111
6.7	Cantidad de materiales de construcción requeridos para los cuatro diseños típicos ... 112
6.8	Costos de filtros lentos de arena 114
7.	EJECUCION DE PROYECTOS DE PLANTAS DE FILTRACION LENTA 125
7.1	Introducción 125
7.2	Licitación de propuestas 126
7.3	Planeamiento y organización 128
7.4	Especificaciones de construcción 131
7.5	Lista de verificación para la secuencia de operaciones en la construcción de filtros lentos 135

APENDICES

1.	Criterios de calidad del agua 141
2.	Sistemas sencillos de pretratamiento 145
3.	Cloración de seguridad y desinfección 153
4.	Investigaciones de suelos 159
5.	Materiales de construcción 165
6.	Dispositivos de medición de flujo 171
7.	Análisis de calidad del agua 175

CONTENIDO	página
8. Cálculos estructurales de filtro de hormigón	181
9. Direcciones de las organizaciones miembros de FIDIC	187
BIBLIOGRAFIA	190
GLOSARIO	195
LISTA DE REVISORES	205
INDICE	207

LISTA DE CUADROS

CUADRO	DESCRIPCION	página
2.1	Variaciones del consumo medio diario por persona (litros por persona y por día) en áreas rurales	18
2.2	Consumo medio diario y variaciones de consumo en litros por persona para diferentes tipos de abastecimiento de agua en el medio rural	18
2.3	Clases de enfermedades infecciosas relacionadas con o transmitidas por el agua y medidas de prevención	20
3.1	Rendimiento de los filtros lentos de arena.	30
3.2	Guía para seleccionar un sistema de tratamiento de agua conjuntamente con filtración lenta en arena	45
5.1	Geometría y dimensiones de filtros lentos de arena para diversas capacidades	76
5.2	Varios tipos de construcción de cajas de filtro y su aplicabilidad en filtración lenta	83
6.1	Posición de las válvulas para el diseño No. III	107
6.2	Capacidades de producción diaria de los cuatro diseños típicos (I-IV) para diferentes modos de operación	111
6.3	Número de personas que pueden ser servidas por los cuatro diseños típicos a una demanda de agua de 40 l.p.d. (para diferentes modos de operación)	112
6.4	Variación estimada de costos de materiales (en US\$) para filtros lentos de arena por unidad de producción (m ³ /h), basada en los cuatro diseños típicos	114

LISTA DE CUADROS

CUADRO	DESCRIPCION	página
6.5	Variación estimada de costos de materiales (en US\$) para filtros lentos de arena por persona servida (basada en los cuatro dise- ños típicos)	116

PREFACIO

Aunque el campo de tratamiento de agua ofrece para escoger una diversidad de tecnologías, sólo unas pocas de ellas pueden, en principio, satisfacer plenamente las necesidades específicas de los países en desarrollo. Una es la filtración lenta en arena - técnica de tratamiento del agua sencilla, eficiente y confiable. Sus costos, por lo general, están al alcance de los recursos de la comunidad y/o del país, y las facilidades para el diseño, construcción, operación y mantenimiento se encuentran usualmente disponibles a nivel local o pueden adquirirse en forma relativamente fácil.

Ya que la filtración lenta en arena puede adaptarse rápidamente a la situación local sin necesidad de usar equipo importado y que las comunidades pueden participar activamente en las diversas etapas de introducción y utilización del abastecimiento de agua, las plantas de filtración lenta en arena están en condiciones de proveer servicio por largo tiempo.

Con el propósito de demostrar que los abastecimientos de agua en el medio rural pueden beneficiarse de estas características, ciertas instituciones de países en desarrollo han iniciado un Proyecto de Filtración Lenta en Arena en estrecha colaboración con el CIR. Las siguientes instituciones llevaron a cabo programas de investigación aplicada en una primera etapa del proyecto. La Universidad de Ciencias y Tecnología, Kumasi y la Corporación de Agua y Alcantarillado de Ghana, Ghana; el Instituto Nacional de Investigaciones en Ingeniería Ambiental, India; la Universidad de Nairobi, Kenya; el Instituto de Ingeniería e Investigaciones en Salud Pública, Pakistán; la Universidad de Khartoum, Sudán; y el Instituto Asiático de Tecnología y la División de Abastecimiento de Agua en el Medio Rural en

Tailandia. A todos aquellos comprendidos en estos programas y en particular a los Investigadores Principales llegue un especial agradecimiento.

En base a la experiencia ganada hasta ahora en este proyecto se ha preparado este manual bajo un acuerdo entre el CIR y J. C. Van Dijk y J.H.C.M. Oomen del Grupo Técnico de Trabajo para la Cooperación en el Desarrollo (TWO), organización no lucrativa asociada con la fundación TOOL y auspiciada por DHV Ingenieros Consultores.

Se expresa agradecimiento a los autores por el amplio trabajo realizado en la revisión y el procesamiento de la información disponible y en la compilación de este manual de diseño y construcción.

Se reconoce con gratitud el apoyo dado por TWO y en particular la indesmayable colaboración de los señores J. Jonker, J. de Lange y C. Pieck.

Se hizo circular una versión en borrador del manual entre varios revisores. El CIR agradece sus observaciones y comentarios en base a los cuales se ha corregido el manual. Se adjunta a este informe la lista de revisores.

Aún cuando el manual abarca todo un campo de aplicaciones de la filtración lenta en arena y se presentan ejemplos típicos, no se pretende ser exhaustivo ni definitivo. Se reconoce que el valor práctico y la accesibilidad del manual sólo pueden demostrarse en el campo. El CIR intenta crear oportunidades para que sea puesto a prueba y para estimular la retroinformación mediante la amplia divulgación de su versión actual. Se insta, por lo tanto, al lector a ofrecer sus comentarios y su-

gerencias sobre cambios, correcciones y adiciones que considere necesarios o útiles. Tales contribuciones serán aceptadas y agradecidas por el CIR y tomadas en cuenta en la futura revisión del manual.

El presente documento desarrolla sólo en forma breve lo referente a operación y mantenimiento de pequeños proyectos de filtración lenta en arena. En un manual separado a publicarse en breve se dará una descripción más completa de los conocimientos y habilidades requeridos para desempeñarse como operador de un filtro lento de arena y se delinearé un programa de adiestramiento para el efecto, en un manual que será publicado como documento adicional a este Manual de Diseño y Construcción.

P. Kerkhoven
Oficial del Programa

1. INTRODUCCION

Es de vital importancia, tanto para la salud humana como para el bienestar de la sociedad en su conjunto, contar con un abastecimiento público de agua seguro y conveniente. Un abastecimiento de agua satisfactorio para propósitos domésticos, tales como el consumo humano y la higiene personal, se caracteriza por ceñirse a normas adecuadas referentes a la disponibilidad del agua, su cantidad, su calidad y la confiabilidad del abastecimiento.

La información recogida periódicamente por las agencias internacionales muestra que una parte considerable de la población mundial, en particular gran cantidad de personas de los países en desarrollo, no tiene acceso razonable a un abastecimiento de agua adecuado. En los últimos años se han realizado muchos esfuerzos para mejorar esta situación.

El Centro Internacional de Referencia para Abastecimiento Público de Agua y Saneamiento, situado en Voorburg (La Haya), como parte de sus actividades en el campo de abastecimiento de agua, auspicia y apoya un proyecto internacional de investigación sobre Filtración Lenta en Arena con el fin de promover la aplicación de este método confiable y de bajo costo para el tratamiento biológico del agua de bebida en las zonas rurales y en las zonas urbanas marginales de los países en desarrollo. Como primer paso, se está preparando información confiable sobre diseño, construcción, operación y mantenimiento de filtros lentos de arena bajo condiciones locales, por medio de un programa que comprende investigación aplicada, trabajos de campo y estudios de la literatura pertinente. El programa está siendo desarrollado en forma simultánea, por instituciones de ocho países participantes (Colombia, Ghana, India, Jamaica,

Kenya, Pakistán, Sudán y Tailandia) que representan un ancho espectro de los países en desarrollo.

El Manual de Diseño y Construcción aborda el tema de la filtración lenta en arena para purificación biológica del agua superficial contaminada por excretas de origen humano o animal. El tratamiento de agua subterránea por filtración lenta en arena (por ejemplo para la remoción de hierro) no es cubierto en el presente documento.

El manual está dirigido hacia sistemas comunales (llamados así para distinguirlos de las viviendas individuales) para localidades cuyas poblaciones oscilen entre 1,000 y 20,000 habitantes.

El contenido, texto e ilustraciones del manual se presentan en forma inteligible para lectores de nivel subprofesional, aunque puede igualmente resultar útil para ingenieros profesionales. La terminología profesional especializada cuyo empleo no pudo evitarse queda explicada en el glosario. Se ha restringido al mínimo el empleo de fórmulas. Cuando en la práctica ciertos cálculos pueden resultar difíciles de efectuar, se presentan procedimientos empíricos.

Los abundantes cuadros, ábacos y gráficos prácticos tienen por objeto proporcionar un instrumento que permita que los oficiales de campo, tales como ingenieros de obra y técnicos, y los funcionarios de salud pública, tomen iniciativas en el desarrollo de programas de agua en el medio urbano y rural.

En el segundo capítulo del manual se da alguna información previa sobre consumo doméstico de agua, criterios de calidad del agua y enfermedades relacionadas con el agua. El tercer capítulo contiene una breve descripción de la teoría y principios de purificación de la filtración lenta en arena. Aquellos

que deseen obtener mayor información sobre este tema pueden remitirse al documento OMS "Slow Sand Filtration", por L. Huisman y W.E. Wood (1) y a los diversos informes sobre los programas de filtración lenta en arena de los países que participen en este proyecto (2 a 7).

En los siguientes capítulos se da una descripción paso a paso, de las actividades esenciales comprendidas en el diseño y construcción de una unidad de filtración lenta en arena. En otras palabras, partiendo de la necesidad de una unidad de tratamiento de agua para una comunidad de algunos cientos o miles de personas, se dan pautas sobre cómo escoger una fuente adecuada de agua cruda, cómo seleccionar los procesos de tratamiento más convenientes, cómo diseñar este sistema, cómo elegir un sitio para la planta, cómo efectuar el diseño estructural, etc.

Para ilustrar el enfoque delineado en los capítulos 4 y 5, el capítulo 6 presenta cuatro diseños típicos de capacidades que van desde los 25 hasta los 960 m³/d, incluyendo juegos de planos de construcción y listas de materiales. Se describen los siguientes tipos de filtros lentos de arena:

- filtros de taludes protegidos
- filtro circular de ferrocemento
- filtro circular de mampostería
- filtro rectangular de hormigón

El capítulo 7 proporciona información sobre la puesta en ejecución de plantas pequeñas de filtración lenta en arena. A continuación se discute los principales aspectos de licitación de propuestas, planeamiento, organización y especificaciones de construcción.

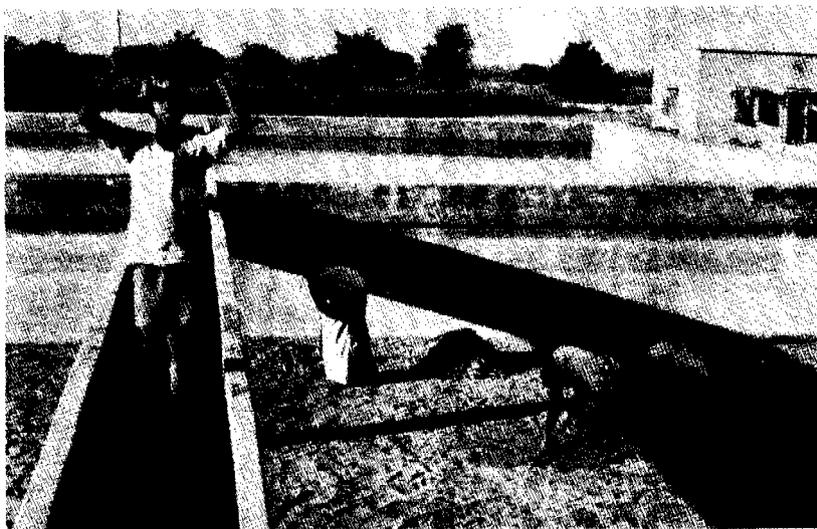
En el apéndice 2 se describe unidades sencillas de pretratamiento que pueden aplicarse en combinación con filtros lentos,

mientras que en el apéndice 3 se ofrece información adicional sobre cloración de seguridad.

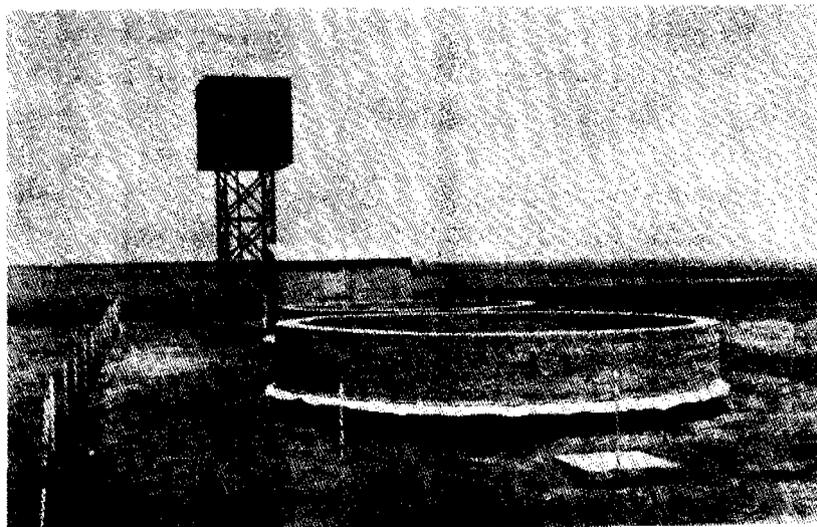
En el apéndice 5 se presta atención a los materiales de construcción que pueden usarse en los filtros lentos de arena en países en desarrollo.

Aunque se cree que la metodología descrita y las ilustraciones que presenta este manual son de aplicación general, debe tenerse en mente que, en principio, cada fuente de agua cruda y cada comunidad requiere que el abastecimiento de agua sea "hecho a la propia medida".

El usuario de este manual debe tomar nota de esta realidad y manejar con precaución la información que contiene el mismo.



Filtros rectangulares de mampostería de piedra, Umrer, India
(el filtro que aparece en primer plano está siendo limpiado).



Filtro circular de mampostería de ladrillo, Región de Gezira,
Sudán (al fondo: casa de bombas y tanque elevado).

2. CONSUMO DE AGUA, CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA Y ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL AGUA

2.1 CONSUMO DE AGUA

El agua es indispensable para la existencia de todas las criaturas vivientes, incluso el hombre. El agua constituye más del 60% del peso del cuerpo humano. El cuerpo humano necesita alrededor de 2-10 litros de agua por día para realizar sus funciones fisiológicas correctamente, dependiendo esto del clima y de la carga de trabajo. Normalmente alrededor de un litro de agua es proporcionado por el consumo diario de alimentos.

El cuerpo humano puede sobrevivir sin alimento por unas siete semanas sin lesión permanente en su salud, pero la ausencia de agua de bebida resulta fatal al cabo de unos pocos días.

El agua también es necesaria para otras funciones tales como la higiene personal, el lavado de los platos y de los utensilios de cocina, lavado de ropa, limpieza de la casa, etc.

El consumo total de agua por persona y por día es determinado por un gran número de factores, tales como la disponibilidad de agua, su calidad, el costo del agua, la renta y el tamaño de la familia, los hábitos culturales, el nivel de vida, las formas y medios de distribución del agua, el clima, etc.

La OMS (10) ha publicado una variada información sobre el consumo promedio diario por persona en zonas rurales de varios continentes. Estos datos se presentan en el cuadro 2.1.

Cuadro 2.1 Variaciones del consumo medio diario por persona (litros por persona y por día) en áreas rurales.

Africa	15-35	América Latina y	
Asia Sud Oriental	30-70	Zona del Caribe	70-190
Pacífico Occidental	30-75	Promedio mundial para	
Mediterráneo Oriental	40-85	países en desarrollo	35- 90

Fuente: OMS (10)

El consumo doméstico medio de agua por persona y por día para diversos tipos de abastecimientos en áreas rurales de países en desarrollo se resume en el cuadro 2.2.

La primera columna contiene cifras bastante adecuadas para propósitos de diseño, mientras que la segunda columna muestra las variaciones que pueden ocurrir en las respectivas cifras de consumo.

Cuadro 2.2 Consumo diario medio y variaciones de consumo diario en litros por persona para diferentes tipos de abastecimiento de agua en el medio rural

tipo de abastecimiento	consumo diario promedio	variaciones consumo diario
abastecimientos no entubados	15	5-25
abastecimientos por tubería con surtidores públicos (pilonos)	30	10-50
conexiones domiciliarias (un solo grifo)	50	20-200

Fuente: Feachem et al. (12)

2.2 CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA Y ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL AGUA

Existen varias normas nacionales e internacionales de calidad del agua potable. La mayoría de los países en desarrollo han adoptado las normas de la OMS (véase apéndice 1) y tienen la intención de cumplir esas normas en la medida de lo posible en sus sistemas actuales de abastecimiento de agua. Las normas de la OMS incluyen criterios de calidad del agua en sus aspectos físicos, químicos y bacteriológicos. Las características generales de una buena agua de bebida pueden formularse como sigue: debe estar libre de organismos patógenos, de sustancias tóxicas y de un exceso de minerales y materia orgánica; para que sea agradable debe estar libre de color, turbiedad, sabor y olor; más aún su contenido de oxígeno debe ser suficientemente alto debiendo tener una temperatura adecuada.

Debido a que las aguas naturales de muchos países en desarrollo tienen temperaturas relativamente altas que favorecen la supervivencia de los organismos patógenos, la calidad bacteriológica del agua es uno de los principales factores para determinar si el agua de bebida es segura o no.

Sin embargo, algunas enfermedades relacionadas con el agua no se deben a su baja calidad bacteriológica, sino a su escasez o a prácticas de higiene personal y domésticas inadecuadas.

El cuadro 2.3 muestra una clasificación de enfermedades relacionadas con el agua con ejemplos para cada clase y las medidas de prevención indicadas contra la ocurrencia de tales enfermedades.

Cuadro 2.3 Clases de enfermedades infecciosas relacionadas con o transmitidas por el agua y medidas de prevención

Mecanismos de transmisión	Ejemplos	Medidas de Prevención
1. Infecciones hídricas		mejorar la calidad
- clásicas	fiebre tifoidea	del agua y evitar
	cólera	el uso casual de
- no clásicas	hepatitis infec- ciosa	otras fuentes no tratadas
2. Infecciones por aguas servidas		aumentar la canti- dad de agua y ha- cerla más accesi- ble, mejorar la
- infecciones de la piel y de los ojos	tracoma, sarna	higiene
- enfermedades diarréicas	disentería bacilar	
3. Infecciones basadas en el agua		reducir la necesi- dad de contactos
- por penetración de la piel	esquistosomiasis	con el agua, con- trolar la pobla- ción de caracoles
- por ingestión	filaria	y mejorar la cali- dad del agua
4. Infecciones por insectos vectores relacionados con el agua		mejorar el manejo del agua superfi- cial, destruir los
- que pican cerca del agua	encefalitis le- tárgica	criaderos de in- sectos y reducir
- que se crían en el agua	fiebre amarilla	la necesidad de estar cerca de los criaderos

Fuente: White, et al. (11)

El conocimiento actual de epidemiología tropical muestra que, en particular, los grupos de bajos ingresos económicos presentan una alta morbilidad debido a enfermedades no transmitidas por el agua vía fecal-oral o por enfermedades ocasionadas por contacto con el agua; las cuales se deben a la falta de agua para higiene personal o a prácticas higiénicas inadecuadas. Como se muestra en el cuadro 2.3, se debe en primer lugar mejorar la cantidad y la accesibilidad y confiabilidad de los abastecimientos; luego debe hacerse esfuerzos para mejorar la calidad del agua. Esto se puede realizar tomando medidas dirigidas a prevenir la contaminación de las fuentes de agua cruda con materia fecal o tratando el agua con métodos de purificación que permitan una mejora considerable de la calidad bacteriológica, tal como la filtración lenta en arena y otros métodos de desinfección.

Encuestas recientes (12) muestran que los abastecimientos de agua para aldeas que han sido mejorados, a menudo sólo tienen efectos perceptibles sobre la salud en el caso de que al mismo tiempo se pongan en ejecución programas de educación sanitaria dirigidos a mejorar los hábitos de higiene personal y doméstica.

3. PRINCIPIOS DE FILTRACION LENTA EN ARENA

3.1 INTRODUCCION

La filtración lenta es un proceso de purificación del agua que consiste en hacerla pasar a través del lecho poroso de un medio filtrante. Durante este paso, la calidad del agua se mejora considerablemente por reducción del número de microorganismos (bacterias, virus, quistes), eliminación de materias en suspensión y de materia coloidal, y cambios en la composición química. En la superficie de un lecho ya maduro se forma una película delgada llamada el Schmutzdecke, que consta de una gran variedad de microorganismos, biológicamente muy activos, que descomponen la materia orgánica, mientras gran parte de la materia inorgánica en suspensión queda retenida por acción de "colado". El proceso de filtración lenta se distingue esencialmente del de filtración rápida por el Schmutzdecke y por el proceso de purificación que tiene lugar en esta delgada capa superficial. El principal carácter distintivo de los filtros de arena de acción rápida consiste en la eliminación de partículas en suspensión relativamente grandes por procesos físicos. Es más, los filtros de arena de acción rápida requieren limpiarse mediante una operación de reflujo un tanto complicada, mientras que la limpieza de los filtros lentos se realiza por el procedimiento relativamente simple al remover periódicamente la parte superior del lecho filtrante, incluido el Schmutzdecke.

En principio, la sustancia porosa del lecho filtrante puede ser cualquier material estable, pero en el campo del abastecimiento de agua potable de uso doméstico la práctica normal es usar lechos de material granular; en particular, se usa arena por ser

barata, inerte, durable, ampliamente disponible y por dar excelentes resultados.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS BÁSICOS DE UN FILTRO LENTO DE ARENA

Básicamente, una unidad de filtración lenta en arena consta de un tanque que contiene una capa sobrenadante de agua cruda, de un lecho de arena filtrante, de un sistema de drenaje y de un juego de dispositivos de regulación y control del filtro (véase figura 3.1):

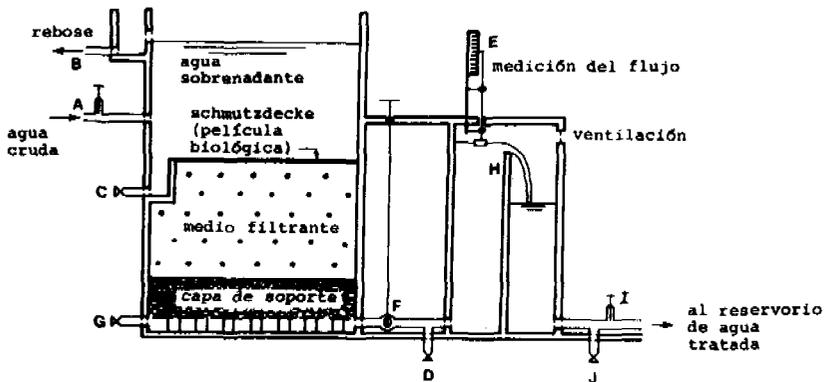


Figura 3.1 Elementos básicos de un filtro lento de arena

capa de agua sobrenadante

La capa de agua sobrenadante sirve dos propósitos: primero, proporciona una carga de agua suficiente para hacer que el agua cruda pase a través del lecho del medio filtrante; segundo, origina un tiempo de retención de varias horas del agua cruda a

ser tratada, período durante el cual las partículas pueden asentarse y/o aglomerarse, o ser sometidas a cualquier otro proceso físico o (bio)químico. Sin embargo, de ningún modo el "reservorio" de agua sobrenadante debe considerarse como un estanque de sedimentación. Si el agua cruda tiene un contenido relativamente alto de materia en suspensión, se debe instalar una unidad de pretratamiento para prevenir la rápida obstrucción del filtro lento de arena (véase también los párrafos 3.4., 3.5. y 3.8.).

La altura adecuada de la capa de agua sobrenadante es de un metro (puede variar entre 1 y 1.5 metros). Es práctica normal mantener el nivel del agua sobrenadante a una altura constante, pero hay diversas formas de operación (por ejemplo, filtración de velocidad declinante *1)).

Las paredes del reservorio de agua sobrenadante deben tener altura suficiente como para dejar un borde libre* de 0.2 a 0.3 metros sobre el nivel del agua.

Para la remoción de la nata* el reservorio de agua sobrenadante puede estar dotado de un dispositivo (manual) desnata-dor y un canal de drenaje de nata. El reservorio debe contar, así mismo, con un vertedero de derrame o rebose que drene el exceso de agua y la retorne a la fuente de agua cruda.

lecho del medio filtrante

El medio filtrante debe estar compuesto por material granular, inerte y durable. Normalmente se prefiere arena (lavada). Debe estar exento de arcilla y de preferencia libre de materia orgánica.

*1): ver glosario

El medio filtrante se caracteriza por su diámetro efectivo* y su coeficiente de uniformidad*. Normalmente, se elige un diámetro efectivo dentro de una gama de 0.15 a 0.35 mm. Cuando no hay disponible arena natural de estas características, el valor deseado del diámetro efectivo puede obtenerse mezclando dos tipos de arena. Como último recurso puede emplearse el tamizado.

De preferencia, el coeficiente de uniformidad debe ser menor de 2, aunque pueden aceptarse valores hasta de 5. Para un funcionamiento adecuado del proceso de purificación se debe proveer un lecho filtrante de 0.6 metros como mínimo.

En vista de que la capa superior (10-20 mm) del lecho filtrante necesitará ser cambiada regularmente durante la operación (véase párrafos 3.3. y 3.7.), un filtro nuevo debe estar provisto de un lecho filtrante de un metro de espesor (rango 1-1.4 metros) de forma que el lecho no necesite rellenarse más de una vez cada varios años.

sistema de drenaje

Este sistema de drenaje sirve para dos propósitos: permite un paso libre para la recolección de agua tratada y da soporte al lecho del medio filtrante, de modo que se asegure una velocidad de filtración uniforme sobre toda el área del filtro.

El sistema de drenaje puede tener diversas configuraciones, ya sea una capa de grava gruesa o de piedra triturada durable, o estructuras de drenes principales y laterales construidas de tuberías perforadas o separadas, bloques o ladrillos de concreto (véase figura 5.13.). Este sistema de drenes está cubierto por capas de grava.

La grava se tiende en capas, comenzando con los granos mayores en el fondo y reduciendo progresivamente el diámetro hacia arriba.

La grava impide que el material granular del lecho del filtro sea acarreado hacia el sistema de drenaje.

Incluidas las capas de grava, el sistema de drenaje debe tener un espesor de 0.5 metros (rango 0.4-0.7 metros), véase la figura 5.12.

dispositivos de regulación y control del filtro

Se mencionan a continuación las operaciones más importantes a ser reguladas y controladas por medio de válvulas, vertederos y otros dispositivos. En el párrafo 5.6. se describirá una serie de los dispositivos convenientes.

- entrada de agua cruda al reservorio de agua sobrenadante hasta un nivel constante dentro del tanque del filtro (A en la figura 3.1.)
- eliminación del exceso de agua y de la nata por medio de un vertedero de derrame o rebose (B en la figura 3.1.)
- drenaje del agua sobrenadante antes de efectuar la limpieza del filtro (C en la figura 3.1.)
- drenaje del agua en la capa superior del lecho filtrante (D en la figura 3.1.)
- medida del caudal del agua efluente* por medio de un dispositivo calibrado de medición de caudal (E en la figura 3.1.)
- regulación de la tasa de filtración (F en la figura 3.1.)
- ingreso de agua limpia para llenar en forma ascendente el lecho filtrante después de efectuar la limpieza del filtro (G en la figura 3.1.)
- dispositivo de prevención de presiones negativas* en el lecho filtrante (H en la figura 3.1.)
- descarga del agua tratada al tanque de almacenamiento de agua tratada (I en la figura 3.1.), o al desagüe (J en la figura 3.1.).

De la descripción anterior de los elementos básicos de un filtro lento de arena puede colegirse que, incluido el cimiento (0.15 metros) la altura vertical total de la caja hermética debe ser de unos 3 m (rango 2.8-3.5 metros). Los materiales de construcción comúnmente usados son hormigón simple o armado, ferrocemento, piedra natural o ladrillo. La caja del filtro, el canal de efluente y el tanque de almacenamiento de agua filtrada deben ser herméticos por dos razones: para evitar pérdidas de agua y, en caso de tenerse un nivel freático alto, para prevenir el ingreso de agua subterránea que pueda contaminar el agua tratada.

3.3 EL PRINCIPIO DEL PROCESO DE PURIFICACION

La purificación empieza en la capa sobrenadante de agua cruda donde las partículas grandes se asentarán sobre el lecho filtrante y las partículas más pequeñas pueden aglomerarse y conformar flocs sedimentables debido a interacciones físicas o (bio) químicas.

Por acción de la luz solar se desarrollan algas que producen oxígeno, elemento conveniente para otros propósitos en la capa de agua sobrenadante y en el lecho filtrante.

Se produce una disminución del número de bacterias y alguna reducción de materia orgánica debido a su consumo por las algas o a su oxidación química.

La mayor eliminación de impurezas, así como la considerable mejora de la calidad física, química y bacteriológica del agua cruda, tiene lugar en el lecho filtrante y, especialmente, en el Schmutzdecke, en la parte superior del lecho filtrante. En esta capa superior abundan microorganismos tales como algas, plancton, diatomeas y bacterias, los que mediante su intensa

actividad biológica, descomponen la materia orgánica.

Más aún, gran cantidad de materia inorgánica en suspensión es retenida al "colarse" el agua.

El agua, en su paso a través del lecho, cambia constantemente de dirección de manera que las partículas acarreadas por el agua toman contacto con los granos del filtro por diversos mecanismos de transporte. Los granos van quedando cubiertos por una capa pegajosa, principalmente de materia orgánica, la que a su vez atrapa estas partículas por diversos mecanismos de "enganche". Al mismo tiempo, los microorganismos activos (bacterias, protozoos, bacteriófagos) que se encuentran en la capa pegajosa que rodea a los granos se alimentan de las impurezas atrapadas y se devoran entre sí. En esta forma, la materia orgánica degradable, incluidos bacterias y virus de origen fecal, es descompuesta gradualmente y convertida en agua, anhídrido carbónico y sales inorgánicas inocuas. La zona viviente donde tienen lugar estos mecanismos de purificación se extiende hasta unos 0.4 a 0.5 metros por debajo de la superficie del lecho filtrante, pero disminuye en actividad al aumentar la profundidad conforme se purifica el agua y ésta contiene menos materia orgánica y menos compuestos nutrientes. A mayor profundidad dentro del lecho filtrante, los productos de los procesos biológicos continúan eliminándose por procesos físicos (adsorción) y acción química (oxidación).

Los mecanismos de transporte, fijación y purificación descritos funcionarán en forma efectiva en el agua que va a ser tratada sólo si se permite un tiempo de retención suficiente en el lecho filtrante.

Especialmente, cuando la filtración lenta en arena es el proceso de tratamiento principal, la tasa de filtración debe ser mantenida a un valor de 0.1 ó 0.2 metros/hora (ó 0.1-0.2 m³/m² de área de lecho por hora). Otro parámetro importante para el proceso de

purificación es el contenido de oxígeno del agua. La actividad de la biomasa disminuirá considerablemente si el contenido de oxígeno del agua en el medio filtrante es menor de 0.5 mg/l. Si se presenta una condición anaeróbica, la biomasa puede añadirle al agua diversas impurezas ofensivas.

Tales ocurrencias pueden ser prevenidas mediante la aeración* del agua cruda (véase párrafo 3.8.), la presedimentación del agua cruda (véase apéndice 2), o un reciclado de parte del efluente aerado hacia el reservorio de agua sobrenadante.

Un contenido de oxígeno de más de 3 mg/l en el efluente del filtro es la meta normal. Como un agua con este contenido de oxígeno puede no ser muy adecuada para el abastecimiento público, se requiere aeración adicional del agua filtrada.

Con este objeto se instala en el canal de efluente un simple vertedero de derrame o rebose que cumple el doble propósito relacionado con la aeración. El vertedero incrementa el contenido de oxígeno del agua filtrada y, simultáneamente, elimina el contenido de anhídrido carbónico y otros gases ofensivos disueltos que se han incorporado al agua como derivados de los procesos bioquímicos. Para mayor eficacia de este proceso la cámara del vertedero debe estar provista de un tiro para ventilación.

El vertedero del efluente tiene otras dos funciones importantes: impide que se presenten presiones negativas en el lecho filtrante al asegurar que el nivel mínimo de rebose quede ligeramente por encima de la capa superior del lecho filtrante, y hace que la operación del lecho filtrante sea independiente de las fluctuaciones del nivel del agua en el tanque de agua filtrada.

3.4 RENDIMIENTO DE LOS FILTROS LENTOS DE ARENA

El efecto de los procesos de purificación sobre la calidad del agua depende de muchos factores, tales como la calidad del agua

cruda, la velocidad de filtración, el tamaño de los granos del medio filtrante, la temperatura y el contenido de oxígeno del agua. En condiciones normales de funcionamiento, el rendimiento promedio de filtros lentos de arena, en lo que se refiere a la eliminación de ciertas impurezas, se resume en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. RENDIMIENTO DE LOS FILTROS LENTOS DE ARENA

parámetro	efecto purificador
materia orgánica	los filtros lentos de arena producen un efluente claro, virtualmente libre de materia orgánica
bacterias	puede eliminarse entre el 99% y el 99.99% de bacterias patógenas; las cercarias de esquistosoma, los quistes y huevos son eliminados aún en mayor grado <u>E. Coli*</u> se reduce entre 99% y 99.9%
virus	en un filtro lento de arena ya maduro los virus se eliminan en forma virtualmente total
color	el color se reduce en forma significativa
turbiedad	puede tolerarse en el agua cruda turbiedades de 100-200 UH* sólo por unos pocos días; turbiedades de más de 50 UN son aceptables sólo por unas pocas semanas; de preferencia, la turbiedad del agua cruda debe ser menor de 10 UN; para un filtro diseñado y operado con propiedad, la turbiedad del efluente será menor de 1 UN

La eficiencia de los filtros lentos de arena para cualquier fuente específica de agua cruda puede determinarse por medio de una pequeña planta piloto formada, por ejemplo, por tambores de petróleo.

Las algas pueden aportar una acción positiva al rendimiento de los filtros lentos de arena. Son capaces de fabricar material celular a partir de simples minerales como agua, anhídrido carbónico, nitratos y fosfatos, produciendo oxígeno, el que a su vez es beneficioso para otros procesos bioquímicos. Las algas también pueden consumir materia orgánica y convertirla en parte en más material celular biodegradable; su presencia puede mejorar la calidad del Schmutzdecke. Por otro lado, un contenido muy alto de algas en el agua sobrenadante puede destruir el adecuado funcionamiento del filtro debido a obstrucciones o a la aparición de condiciones anaeróbicas cuando mueren grandes cantidades de algas. La extracción periódica o regular de algas o el cubrir los filtros pueden ser buenos métodos para solucionar estos problemas.

Ciertos tipos de algas tienen un efecto perjudicial sobre el rendimiento del filtro, reduciendo por ejemplo, el período de su carrera pese a que el filtro haya sido diseñado usando criterios adecuados. Si se desarrollan tales algas podrá ser necesario cubrir los filtros.

Otra consecuencia del desarrollo de algas es que se produce una variación diaria en el consumo de oxígeno y, por lo tanto, en el contenido de oxígeno del efluente.

Esto se explica por el hecho de que durante el día las algas producen más oxígeno del que consumen pero que durante la noche ocurre lo contrario.

Por lo tanto, el contenido de oxígeno alcanzará su valor mínimo al amanecer mientras que su valor máximo ocurrirá al final de la tarde.

3.5. APLICABILIDAD Y LIMITACIONES DE LOS FILTROS LENTOS DE ARENA

La filtración lenta en arena es un método eficiente para la eliminación de materia orgánica y de organismos patógenos. Es por lo tanto un método de tratamiento particularmente apropiado para aguas superficiales que contienen cantidades indeseables de esas impurezas. La turbiedad de algunas aguas superficiales puede, no obstante, limitar el rendimiento de los filtros lentos de arena por lo que, con bastante frecuencia, debe aplicarse algún pretratamiento; véase el cuadro 3.1. y los dos párrafos finales de este capítulo.

Los filtros lentos de arena tienen algunas limitaciones ya que requieren de áreas extensas y de gran cantidad de medio filtrante. Más aún, puede ser necesario instalar costosas estructuras de cubierta para prevenir la entrada de luz solar si se teme el desarrollo de cantidades inaceptables de ciertos tipos de algas. Otra limitación la pueden constituir los cambios bruscos en la calidad del agua cruda, lo cual puede trastornar el rendimiento de los filtros biológicos; por ejemplo, un alto contenido de turbiedad durante la estación lluviosa (o posiblemente desechos industriales tóxicos).

Aparte de lo referente a la disponibilidad del medio filtrante adecuado y a la ocurrencia de altas turbiedades durante ciertas épocas, las demás limitaciones antes señaladas no se aplican normalmente a las áreas rurales o a las áreas urbanas marginales de los países en desarrollo, o puede obviarse sin serias restricciones.

3.6. VENTAJAS DE LOS FILTROS LENTOS DE ARENA

En comparación con varios otros métodos de tratamiento diseñados para la remoción de materia orgánica, de organismos patógenos, de turbiedad y de color, la filtración lenta en arena tiene muchas ventajas. Es la única operación unitaria conocida que consigue tan alto grado de mejora simultánea en la calidad física, química y bacteriológica del agua cruda.

En los países en desarrollo existe un número de ventajas especiales, tales como:

- la sencillez del diseño, construcción y operación que permite la aplicación de materiales y capacidades localmente disponibles, con supervisión técnica limitada; sólo se requieren tuberías y dispositivos comunes y no se necesita de equipo o instrumentación especial
- si se dispone de suficiente material para el lecho filtrante, el costo de la construcción es relativamente bajo
- casi no existe la necesidad de importar materiales y equipo y, fuera de una posible desinfección o cloración del efluente para seguridad, no se necesitan compuestos químicos (si se está usando para aguas altamente turbias técnicas de pretratamiento avanzadas, tales como la floculación/coagulación*, pueden quizás requerirse considerables cantidades de compuestos químicos)
- la operación y mantenimiento pueden ser llevados a cabo por mano de obra semiespecializada; un filtro lento de arena no requiere lavado por flujo ascendente (en comparación con un filtro rápido de arena)
- puede necesitarse de energía sólo para bombear agua cruda al "reservorio" de agua sobrenadante; el proceso de filtración es llevado a cabo por gravedad; no hay otras partes mecánicas que precisen de energía para funcionar.

- pueden aceptarse las fluctuaciones, siempre que la turbiedad no se torne excesiva por un largo período
- no se requiere agua de lavado para la limpieza del filtro, por lo tanto se ahorra cierta cantidad de agua en comparación con otros sistemas de filtración
- el manejo de lodos no causa problemas; las cantidades de lodos son pequeñas y tienen muy alto contenido de materia seca

3.7 OPERACION Y MANTENIMIENTO DE FILTROS LENTOS DE ARENA

Quando una unidad de filtración lenta en arena ha sido bien diseñada y construida, sólo se requiere de una sencilla rutina de operación y mantenimiento. A excepción de algunos análisis físicos, químicos y bacteriológicos de muestras del agua efluente, todas las actividades de operación y mantenimiento pueden ser desarrolladas por mano de obra local. Estas actividades de operación y mantenimiento se describen en forma cabal en un documento complementario adicional (9). Pueden realizarse periódicamente análisis muy completos de muestras de agua por parte de las autoridades médicas del distrito, aunque puede enseñarse al operador a que realice por sí mismo algunos ensayos normales sencillos. A este respecto se hace referencia a la Monografía N° 63 de la OMS (13).

A continuación se registran algunas de las principales actividades de operación y mantenimiento:

- *puesta en servicio de un filtro*

Quando se ha terminado la construcción del filtro, el lecho filtrante se llena con agua limpia desde el fondo

para expulsar las burbujas de aire presentes en los intersticios de la arena.

Cuando el nivel de agua sobrenadante llega a una altura suficiente por encima del lecho de arena (0.1 metro), puede admitirse el agua cruda a través de la entrada normal de agua no filtrada en forma tal que no se produzca turbulencia en el agua sobrenadante (véase párrafo 5.3.). Cuando el agua sobrenadante ha alcanzado el nivel de diseño, se abre la válvula de descarga D (véase figura 3.1.) y se hace correr el efluente al desagüe, o a otro filtro del efluente, a una velocidad (controlada con la válvula reguladora del filtro F) de aproximadamente un cuarto de la tasa de filtración normal.

Ahora el filtro debe hacerse funcionar por unas cuantas semanas para permitir la formación del Schmutzdecke y de las capas adherentes que rodean los granos del lecho filtrante o sea el llamado "proceso de maduración". Durante este proceso, la velocidad de filtración es gradualmente incrementada hasta que alcanza la velocidad de filtración de diseño.

Después que los análisis comparativos físico, químico y bacteriológicos del agua cruda y del agua filtrada han demostrado que el filtro está trabajando correctamente, la válvula de drenaje D puede cerrarse y el efluente ser dirigido al tanque de agua filtrada abriéndose la válvula I.

operación de la válvula reguladora del filtro

Después del debido proceso de maduración, el filtro operará exitosamente por varias semanas con la válvula reguladora F casi totalmente cerrada.

Luego, conforme empieza el Schmutzdecke a "colmatarse", se va abriendo gradualmente la válvula, un poco cada día, para compensar la pérdida de carga en el Schmutzdecke y para mantener la tasa de flujo con un valor constante.

La tasa de flujo se puede medir con un medidor Venturi* (venturímetro), colocado inmediatamente por encima de la válvula reguladora o, por un dispositivo indicador flotante en la sección aguas arriba de la cámara del vertedero (véase figura 3.1. y párrafo 5.6.).

vertedero de efluente flotante

Un vertedero de efluente flotante. (véase figura 3.2), situado en una cámara que tenga la misma altura que el tanque del filtro, puede sustituir tanto al dispositivo medidor del caudal cuanto a la válvula reguladora de flujo tal como se indica en la figura 3.1.

El caudal de un vertedero flotante es determinado por la dimensión de la entrada y la profundidad de inmersión de la misma. Ajustando la profundidad de inmersión de la entrada, el vertedero flotante regulará el caudal del efluente a un valor prefijado, en tanto que la resistencia hidráulica de la válvula reguladora del filtro es sustituida por un mayor nivel del agua filtrada en la cámara del vertedero.

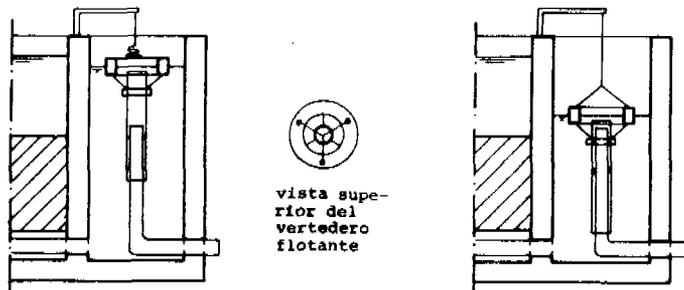


Figura 3.2. Funcionamiento de un vertedero de efluente flotante

Normalmente, el vertedero flotante debe estar provisto de una pequeña cadena que impida que el vertedero descienda por debajo de cierto nivel (nivel mínimo de la cresta del vertedero flotante). La llegada a este nivel indica que el período de funcionamiento del filtro ha llegado a su fin. La cadena también se usa para detener el filtro, tirando el vertedero flotante hacia arriba hasta la cima de la cámara del vertedero. Para hacer que este método de operación sea independiente del nivel del agua tratada en el tanque de agua filtrada debe instalarse otro vertedero de efluente en la sección de la toma del tanque de agua filtrada. Tanto la cresta de este vertedero de efluente como la toma del vertedero flotante, a su nivel mínimo admitido, deben estar situados a cierta distancia sobre el nivel superior del lecho filtrante (por ejemplo 0,2 metros) para prevenir gestiones negativas.

La carga hidrostática del agua en la línea de transporte del vertedero flotante es determinada por el nivel de la cresta del vertedero de efluente recién mencionado. Para permitir el llenado ascendente de un filtro después de una operación de limpieza, la longitud de la cadena fijada al vertedero flotante debe extenderse unos 0,2 metros. De esta manera, el agua filtrada proveniente de otros filtros fluirá ahora a través del vertedero flotante y en dirección inversa hacia el interior del lecho filtrante desde abajo y a través del sistema de drenaje.

Limpieza del filtro

Cuando, después de un período de operación de varias semanas o meses, la válvula reguladora está totalmente abierta

y la tasa de flujo empieza a decrecer, la resistencia del Schmutzdecke se ha tornado muy alta y debe procederse a limpiar el filtro. Se cierra la válvula de la entrada de agua no filtrada A y se permite que descienda el nivel del agua sobrenadante continuando el proceso de filtración por algunas horas. Se drena el resto de agua sobrenadante abriendo la válvula de drenaje C. Finalmente, se hace descender el nivel del agua en el lecho filtrante hasta unos 0.2 metros por debajo de la superficie del lecho abriendo la válvula de drenaje D,

Luego se separa cuidadosamente el Schmutzdecke, usando pa-las de punta plana en una operación de limpieza tan breve como sea posible para prevenir el deterioro del lecho fil-trante y evitar que aves de carroña dañen el lecho.

El Schmutzdecke y la arena extraída con él pueden ser dese-chados o ser lavados para usarse nuevamente.

Cuando se está limpiando un filtro la velocidad de filtra-ción de los demás filtros puede ser aumentada convenientemente para mantener la producción normal de la planta.

Los pasos a seguir para reiniciar el trabajo de un filtro limpio ("período de remaduración") son similares a los aplicados en la puesta en marcha de un filtro nuevo, aun-que los períodos necesarios para el llenado ascendente (unas pocas horas) y la remaduración (unos pocos días) son bastante más breves que el período de puesta en servicio inicial.

regulación del nivel de agua sobrenadante

Bajo condiciones normales de maduración, y en la medida de lo posible, el nivel del agua sobrenadante debe ser mantenido constante.

Esto puede hacerse mediante una válvula de compuerta A o un vertedero de rebose D, que retorna el exceso de agua

a la fuente de agua cruda. De preferencia, se adopta una combinación de la válvula y el vertedero de rebose. Si el agua cruda alimenta a la unidad de filtración mediante bombeo, la cantidad de agua de rebose debe mantenerse mínima para economizar energía.

regulación del nivel del vertedero del efluente

La cota de la cresta del vertedero del efluente H debe estar ligeramente más alta que la superficie del lecho filtrante para evitar que se creen presiones negativas en el lecho filtrante.

Si el vertedero del efluente está compuesto por una estructura rígida (véase figura 3.1.), se debe prestar especial atención durante el rearenamiento del filtro con el fin de que la cota del nivel superior del lecho filtrante no sobrepase la cota de la cresta de este vertedero.

rearenamiento de un filtro

Después de varios años de operación (3-4 años) y de unos 20-30 raspados, el lecho filtrante alcanza su menor espesor permisible y debe traerse medio filtrante nuevo o lavado para elevar el lecho hasta su espesor original. El nuevo medio filtrante debe colocarse debajo de los 0.3-0.5 metros superiores del medio filtrante antiguo empleándose para ello el llamado proceso de "encimado". Véase la figura 3.3.

Por este procedimiento, la capa superior, mucho más rica en vida microbiológica, es reubicada en la parte más alta del lecho filtrante, lo cual permite que el filtro rearenado se torne operable con un período mínimo de remadura-ción.

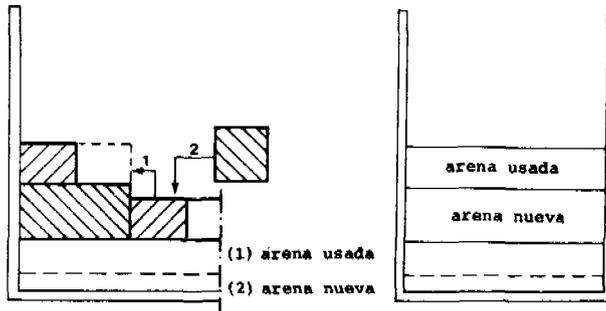


Figura 3.3. Proceso de encimado

MODOS ALTERNATIVOS DE OPERACION

Filtración de tasa declinante

La filtración de tasa declinante se inicia en cuanto se cierra la línea de alimentación de agua cruda al "reservorio" de agua sobrenadante, mientras que la válvula reguladora del filtro mantiene su posición. El agua sobrenadante será filtrada ahora a una tasa de filtración continuamente declinante debido a la reducción progresiva de la carga del agua sobrenadante.

Este modo de operación puede aplicarse durante la noche y permite economías en mano de obra y costos de inversión de capital.

Si se aplica filtración de tasa declinante, la cota mínima de la cresta del vertedero del efluente debe estar 0.2 metros sobre el nivel del lecho filtrante. Tal medida previene que se llegue a un nivel muy bajo del agua sobrenadante al final del período de filtración de tasa declinante. Si esta altura de agua fuera menor de 0.2 metros.

podría causar acciones indeseables, tales como daño al Schmutzdecke ocasionado por aves de carroña o a que se seque el lecho filtrante por evaporación, etc. Después de un período de filtración de tasa declinante, el reservorio de agua sobrenadante tendrá que ser llenado hasta su nivel normal para permitir que se prosiga la filtración a la tasa de filtración normal de diseño. Este llenado ascendente debe efectuarse tan rápido como sea posible (¡sin alterar el Schmutzdecke!) para hacer el máximo uso de la capacidad de producción. Normalmente, puede asignarse un período de alrededor de una hora para realizar esta operación de llenado ascendente. Deberán diseñarse bombas de agua cruda y, posiblemente, unidades de pretratamiento convenientes para este modo de operación.

Operación intermitente

En este modo de operación, el proceso de filtración se detiene por completo durante ciertos períodos (por ejemplo durante la noche). Esto significa que no sólo se cierra la línea de alimentación al reservorio de agua sobrenadante, sino también la línea del efluente a la cámara del vertedero. Para este propósito se recomienda instalar una válvula adicional en la línea del efluente de modo que la válvula reguladora del filtro pueda mantenerse en posición de operación y funcionar debidamente tan pronto como se reinicie el proceso de filtración,

Existen todavía algunos otros métodos de operación, pero la discusión de ellos escapa al alcance de este manual.

3.8 PRETRATAMIENTO Y POSTRATAMIENTO EN COMBINACION CON FILTROS LENTOS DE ARENA

Pretratamiento

Para los filtros lentos de arena el pretratamiento es indispensable si la turbiedad del agua cruda tiene un valor promedio de más de 50 UN en períodos que sobrepasan unas pocas semanas o más de 100 UN en períodos que sobrepasan unos pocos días.

Los sistemas de pretratamiento más sencillos y convenientes son: filtración en el lecho del río, almacenamiento y sedimentación simple. Otras técnicas adecuadas de pretratamiento son filtración "gruesa" rápida y prefiltración con flujo horizontal a través de material grueso (números 6, 7).

En esta sección se discutirá brevemente estos sistemas de pretratamiento; en el apéndice 2 aparece información más detallada. La filtración en el lecho del río puede aplicarse para el tratamiento de aguas crudas que contienen turbiedad más bien baja (10-20 UN); puede tolerarse turbiedades de hasta 200 UN por períodos breves. El principio de purificación se basa en la remoción de sólidos en suspensión en un lecho de material filtrante granular situado en el lecho del río.

El almacenamiento debe aplicarse si la turbiedad promedio anual supera los 1000 UN. El material en suspensión es removido por asentamiento natural y por procesos biológicos.

La sedimentación simple puede aplicarse a aguas crudas con turbiedad promedio anual entre 20 y 100 UN. Para este sistema

de tratamiento pueden aceptarse turbiedades de hasta 400 UN por períodos que no sobrepasen unas pocas semanas.

La filtración "gruesa" rápida puede aplicarse exitosamente como método de pretratamiento para aguas crudas que contienen turbiedades de 20-100 UN, si se cuenta fácilmente con materiales adecuados como fibra de coco o grava gruesa. Tal forma de filtración puede efectuarse en un filtro tanque similar al tanque usado para filtración lenta con arena. En este caso, el material de fibra de coco o la grava gruesa funcionará como medio filtrante.

La prefiltración con flujo horizontal a través de material grueso puede ser aplicada para aguas crudas con turbiedades hasta de 150 UN.

Se aplica como medio filtrante grava gruesa o piedra triturada; la caja del filtro tanque es comparable a la que se usa para la sedimentación simple.

Si el consumo de oxígeno en el lecho filtrante conduce a una condición anaeróbica, será necesaria la aeración del agua cruda o el reciclamiento del agua efluente enriquecida con oxígeno. En ese caso, puede ser suficiente la aeración del agua cruda mediante un simple vertedero de rebose previo al ingreso al reservorio de agua sobrenadante.

Postratamiento

El único postratamiento que puede requerirse para el efluente de un filtro lento de arena es la cloración de seguridad, la que está principalmente dirigida a prevenir el desarrollo posterior de bacterias en los tanques de almacenamiento o en el

sistema de distribución. También deberá ser aplicada como medida de precaución si la fuente de agua cruda está fuertemente contaminada con materia orgánica de origen fecal, por ejemplo, para agua cruda con contenido de E.Coli de 10000/100 ml o más (desinfección).

En el apéndice 3 se presenta un ejemplo de sistema de cloración recomendable.

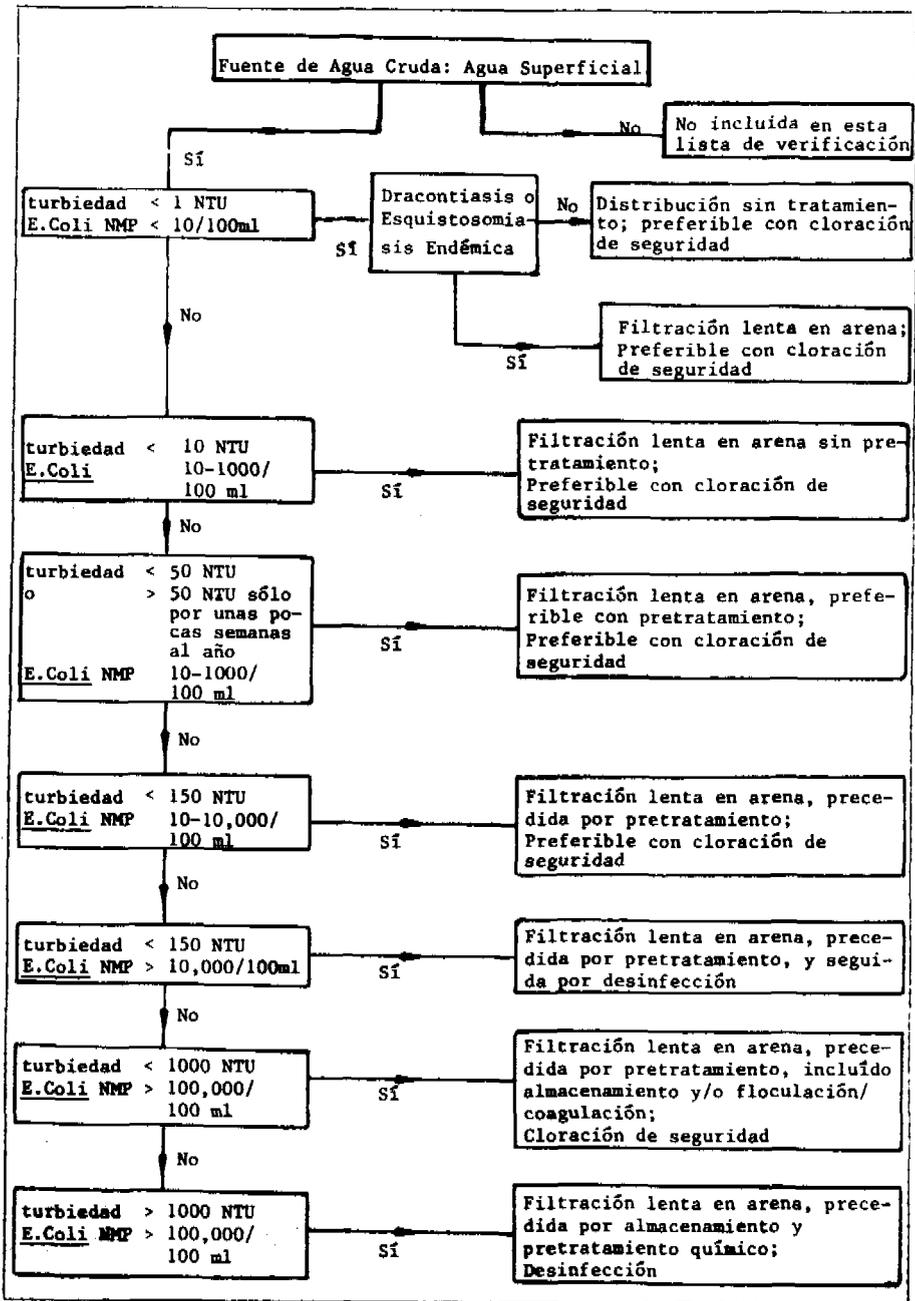
3.9 GUIA PARA SELECCIONAR UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA

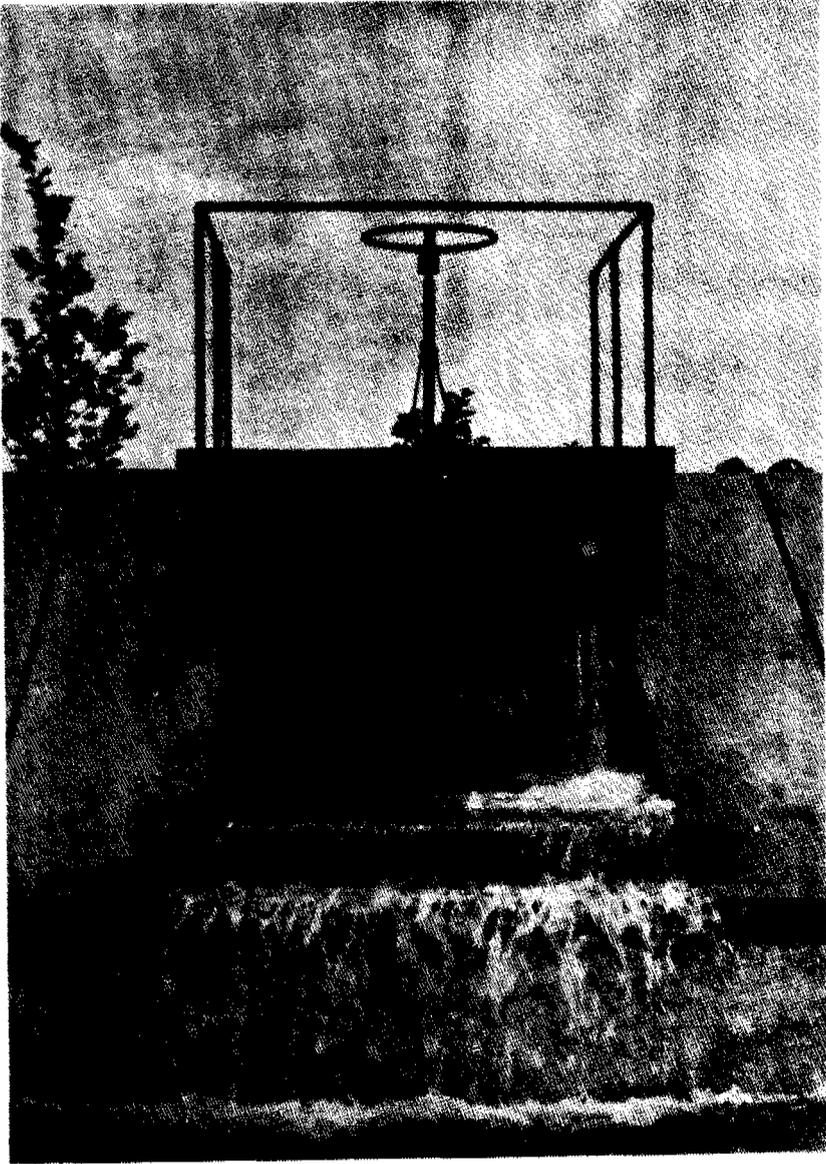
En los párrafos previos hemos discutido temas tales como el rendimiento de los filtros lentos de arena, sus ventajas y limitaciones, y varias técnicas de pretratamiento y postratamiento. Puede concluirse que la filtración lenta con arena representa una técnica excelente para mejorar substancialmente la calidad física, química y bacteriológica de la mayor parte de las aguas superficiales de los países tropicales en desarrollo.

Por otro lado, se ha indicado que los filtros lentos son sensibles a ciertos parámetros de calidad del agua cruda.

En este respecto la turbiedad del agua cruda es de importancia crucial para el diseño de todo el sistema de tratamiento (en particular la elección de la unidad de pretratamiento). Otro parámetro importante para el sistema de tratamiento integral (en particular la elección del sistema de postratamiento) es la calidad bacteriológica del agua cruda. A este respecto se usa E.Coli como organismo indicador. Sobre la base de los parámetros mencionados, turbiedad y contenido de E.Coli, la tabla 3.2 da un procedimiento para seleccionar un sistema de tratamiento de agua con filtración lenta.

Cuadro 3.2. Guía para seleccionar un sistema de tratamiento de agua conjuntamente con filtración lenta en arena.





Estructura de la entrada a un filtro lento de arena, Kranuan, Tailandia.

4. DISEÑO DE PLANTAS DE FILTRACION LENTA CON ARENA

4.1. INTRODUCCION

Los objetivos primarios de un sistema de abastecimiento de agua como se mencionó anteriormente, son disponibilidad, cantidad, calidad y confiabilidad. Un buen sistema de abastecimiento de agua es el que provee a la población de agua de buena calidad, en cantidad suficiente y con una máxima confiabilidad.

Es tarea del proyectista convertir estos objetivos teóricos en un diseño realista y económico tomando en cuenta las circunstancias y recursos locales.

Al asumir la responsabilidad de este trabajo, el proyectista constantemente tendrá que tomar decisiones sobre detalles importantes, gran parte de los cuales se relacionan con:

1. Planteamiento general de un sistema de abastecimiento de agua; vale decir, elección de la fuente de agua cruda, del método de tratamiento, y del sistema de distribución.

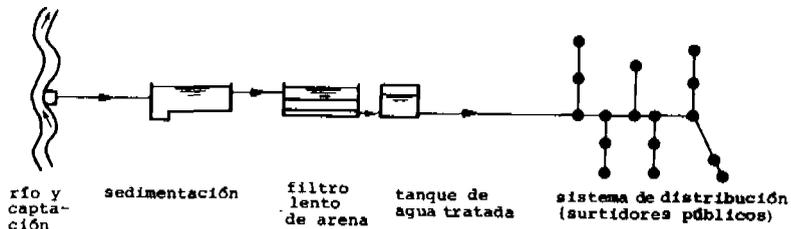


Figura 4.1. Esquema general de un sistema de abastecimiento de agua

2. Dimensionamiento del sistema de abastecimiento de agua; por ejemplo determinación del esquema general y del tamaño de los diversos elementos de la planta propiamente dicha.

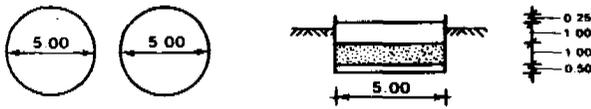


Figura 4.2. Dimensionamiento de filtros lentos de arena

3. Especificación de los elementos; comprende los dibujos detallados de las estructuras y los aditamentos.

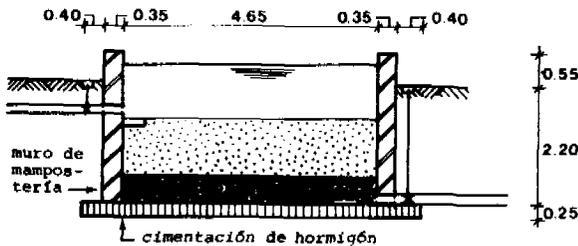


Figura 4.3. Plano de un filtro lento de arena

En la práctica es usual que el planteamiento general y el dimensionamiento de un sistema de abastecimiento de agua conformen el diseño preliminar o anteproyecto que puede usarse para reunir fondos y para propósitos de planeamiento y organización. Este capítulo se ocupará de estas partes o etapas del diseño. En el capítulo siguiente se enunciará lo concerniente a las especificaciones de los elementos que pueden eventualmente llevar a un diseño definitivo.

4.2. CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

El diseño de un filtro lento de arena, y, ciertamente, el de cualquier componente de un sistema de abastecimiento de agua, es una cuestión compleja. Huisman y Wood (1) van a la raíz del asunto cuando expresan que "la filtración lenta en arena es todavía más arte que ciencia". Y un arte a diferencia de una ciencia, no puede inculcarse por medio de reglas y reglamentos.

Sin embargo, es posible señalar pautas que pueden seguirse con éxito al diseñar un sistema de abastecimiento de agua que comprende filtración lenta en arena.

En general, se pueden aplicar los siguientes criterios:

1. Durante el período de diseño* proyectado, la calidad del agua de abastecimiento no deberá, bajo ninguna circunstancia, ser de inferior calidad de límites determinados, como se indica en el capítulo 3.

Esto implica que debe tomarse medidas para enfrentarse a eventuales deterioros futuros de la calidad del agua cruda, averías en elementos críticos del sistema y mal funcionamiento del sistema de tratamiento debidos a fallas operativas o a condiciones desfavorables (por ejemplo temperaturas bajas). A este respecto un filtro lento de arena posee características favorables, como son su considerable flexibilidad con relación a las variaciones en la calidad del agua cruda y su operación autoregulada.

2. La capacidad del abastecimiento de agua debe ser tal que en ningún momento del período de diseño se produzca escasez seria de agua. Esta condición es menos estricta que la anterior, ya que mientras el deterioro de la calidad del agua puede dar lugar a brotes inmediatos de enfermedades epidémicas, la consecuencia de la escasez de agua aparentemente no va más allá de causar cierta incomodidad. Sin embargo, la población puede tentarse de usar agua de fuentes no protegidas, por lo que la disminución de la cantidad de agua debe también evitarse al máximo. Esto puede exigir incorporar unidades de reserva, tanques de almacenamiento de agua y, posiblemente, reservorios elevados de servicio.
3. La tecnología aplicada debe ser tal que la operación, el mantenimiento y, de preferencia, las reparaciones puedan ser realizados por la población local.

En los países en desarrollo esto puede significar rechazar técnicas avanzadas e incorporar y desarrollar tecnología apropiada. Se debe renunciar al uso de equipo delicado de dosificación química en favor de sólidos dosificadores hidráulicos* o, (mejor aún), no utilizarlos mediante una bien estudiada selección de la fuente de agua cruda y del método de tratamiento.

La filtración lenta constituye un ejemplo muy bueno de un método de tratamiento confiable que está al alcance de la capacidad de la población de la mayoría de las aldeas o caseríos de los países en desarrollo.

4. Los costos de construcción del sistema deben ser mínimos, manteniéndose las exigencias de alta calidad y duración de sus componentes.

Esto significa la utilización económica de los materiales, particularmente de aquellos que deben ser importados.

Pese a que los costos de la mano de obra tienen naturalmente influencia en los costos de la construcción, se piensa que este ítem debe ser manejado en forma separada. En proyectos de ayuda propia (autoayuda), por ejemplo, la mano de obra es proporcionada sin costo por la población que será beneficiada por los resultados.

5. Los costos de operación del sistema deben ser mínimos. Esta es otra razón para evitar en lo posible el empleo de productos químicos. Aún más, un diseño hidráulico de características óptimas dará como resultado menores costos de bombeo. Los salarios de los operadores pueden significar una carga pesada sobre los fondos de las pequeñas comunidades. Se puede, por lo tanto, tomar la decisión de operar las instalaciones de captación y de tratamiento durante 8 ó 16 horas al día (uno o dos turnos, véase también párrafo 4.3.). En este caso será necesario contar con un gran reservorio de agua tratada ubicado a una altura suficiente para asegurar la continuidad del abastecimiento.

6. El procedimiento de construcción del sistema debe, de preferencia, ser tal que pueda ser ejecutado por contratistas locales. Debe evitarse la construcción con elementos prefabricados, así como la aplicación de medios y recursos constructivos avanzados, especialmente en aquellos programas de escala reducida. Debe imponerse normas adecuadas de estabilidad y precisión.

Se aclara que estas condiciones forman meramente un marco de referencia dentro del cual el proyectista puede y debe tomar muchas decisiones referentes al diseño.

En el párrafo siguiente se presenta un ejemplo ilustrativo de la manera adecuada de enfocar el diseño de sistemas de abastecimiento de agua.

4.3. EJEMPLO DE DISEÑO

Consideremos una aldea de unos 1,200 habitantes que carece de sistema de abastecimiento público de agua. Los pobladores sacan agua de un río cercano con cántaros y cubos. Como el río se encuentra contaminado con excretas animal y humana, las enfermedades infecciosas se presentan con frecuencia siendo manifiesta la necesidad de contar con un sistema de abastecimiento de agua seguro.

Cuando se proyecta un nuevo sistema de abastecimiento de agua, el primer factor importante a considerar es el período de diseño. Es decir, el período durante el cual el sistema proyectado debe ser capaz de suministrar a la población agua de calidad y en cantidad adecuadas. El período de diseño no debe ser demasiado corto (verbigracia no menor de diez años) para que sea un sistema capaz de operar sin perturbaciones, ni demasiado largo (verbigracia no mayor de 50 años) por razones de predicibilidad y de economía.

El período de diseño para nuestro poblado se fija en 15 años, de manera que, después de una etapa de planeamiento y construcción de 2-3 años, la capacidad de la planta será suficiente para dar buen servicio por lo menos 12-13 años.

etapa 1: período de diseño: 15 años

El período de diseño puede diferir de la vida útil, económica* o física*, de los diversos elementos de la construcción. De manera general, se aceptan los siguientes períodos de depreciación*, aún cuando las organizaciones financieras pueden - por razones económicas - exigir períodos de retorno de capital* mucho menores:

elementos de la construcción	25 años
elementos mecánicos	15 años
elementos eléctricos	15 años

Habiéndose establecido el período de diseño, debe determinarse la población de diseño aplicando estudios de proyección demográfica donde ésto sea posible. Si se cuenta con información demográfica, puede derivarse de ella cifras de crecimiento poblacional, y proyectarlas para el período de diseño, tomando en cuenta factores socioeconómicos tales como la planificación familiar, la migración, las variaciones de prosperidad y cambios en la atención médica. En el caso de nuestra aldea, no se dispone de esa información, pero en base a averiguaciones y estimaciones sobre tasas de nacimientos y de defunciones, así como de cifras referentes a la migración, el ingeniero proyectista arribó a una tasa de crecimiento anual* de 3%.

De la tabla siguiente puede determinarse que el factor de crecimiento demográfico* (para un período de diseño de 15 años) es 1.56.

Período de diseño (años)	Tasa de crecimiento anual (%)		
	2	3	4
10	1.22	1.34	1.48
15	1.35	1.56	1.80
20	1.49	1.81	2.19

Esto significa que la población probable dentro de 15 años es $1.56 \times 1,200 = 1,872$, digamos 1,900 habitantes.

etapa 2: población de diseño: 1,900 hab.

Enseguida, debe establecerse la demanda de agua de diseño. En el capítulo 2 se ha discutido ya los factores que influyen sobre la demanda de agua. Para la aldea de nuestro ejemplo se ha elegido un sistema de distribución con varios surtidores públicos y el consumo de agua estimado es de 30 litros por persona por día (día de máxima* en el período de diseño). Incluidas pérdidas y desperdicios, estimados como un 33%, la demanda de agua será 40 l.p.d. La demanda diaria de agua de diseño puede calcularse ahora de la siguiente manera:

$$1,900 \text{ (personas)} \times 40 \text{ (l.p.d.)} = 76,000 \text{ l/d} = 76 \text{ m}^3/\text{d}$$

etapa 3^a: demanda diaria de agua de diseño: $76 \text{ m}^3/\text{d}$

La demanda horaria de agua de diseño se estima como un 20% del agua diaria de diseño, es decir, 8 litros por persona por hora (hora de máxima* en el período de diseño). Esta cifra es importante en relación con el diseño del tanque de agua filtrada y las tuberías de distribución.

La demanda horaria de diseño puede calcularse así:

$$1,900 \text{ (personas)} \times 8 \text{ (l.p.h.)} = 15.2 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ digamos } 15 \text{ m}^3/\text{h}$$

etapa 3b: demanda horaria de diseño: $15 \text{ m}^3/\text{h}$

En nuestro caso, sobre la base de valores estimados de agua a ser usada en la cocina, el lavado, etc., el proyectista ha llegado al siguiente perfil diario del uso de agua.

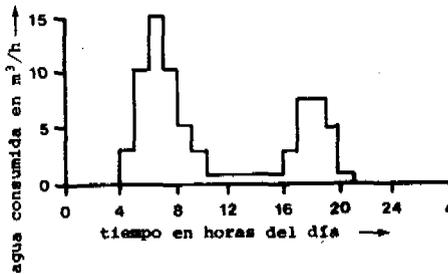


Figura 4.4. Perfil diario del uso de agua

Habiéndose establecido el caudal de diseño, debe proseguirse con el desarrollo de la organización del sistema de abastecimiento de agua. Debe elegirse una fuente conveniente de agua cruda, así como métodos de tratamiento adecuados que estén de acuerdo con los pre-requisitos dados. Este procedimiento ya fue delineado en el capítulo 3. De la información concerniente a las

propiedades geológicas del subsuelo, y en base a unas pocas perforaciones practicadas con equipo normal, se halló que, en nuestra aldea, no había agua subterránea disponible a profundidades razonables, por lo que se decidió extraer el agua del río cercano para el sistema de abastecimiento público.

El río tiene sus orígenes en las montañas y, aunque no se cuenta con registros hidrológicos, se estima que el caudal mínimo durante la época de estiaje no será menor de 400 l/segundo. La máxima extracción proyectada de 15 m³/h será, por lo tanto, de sólo 1% del caudal mínimo, lo cual es bastante aceptable.

etapa 4: fuente de agua: el río

De acuerdo a la información recogida de autoridades que funcionan aguas arriba se halla que todos los parámetros de calidad del agua están dentro de límites aceptables para el consumo humano (véase apéndice 1) con excepción de la turbiedad (5-100 NTU) y los parámetros microbiológicos (NMP* E.Coli 100-1000/100 ml), mientras que la Demanda Química de Oxígeno* (DQO) es también bastante alta (4-8 mg/l). Un número de muestras recogidas en el sitio propuesto para la toma de agua (uno en época de estiaje y uno en época de avenida) enviadas a la autoridad de agua del distrito para sus análisis químico y microbiológico confirman estos hallazgos.

En base a la lista de verificación descrita en el capítulo 3.9., se toma la decisión de tratar el agua del río mediante sedimentación simple seguida de filtración lenta en arena. Se cree que este tipo de tratamiento reducirá la turbiedad a menos de 1 UN y la DQO a 2-4 mg/l, adicionalmente los parámetros microbiológicos se ajustarán a las normas de agua de bebida.

etapa 5: sistema de tratamiento: sedimentación simple y
filtración lenta en arena

Ahora se determinará la ubicación de la captación de agua, teniendo en cuenta las fluctuaciones de la calidad del agua debida a la presentación de flujos en el río y la estabilidad de las orillas (será favorable la ubicación en la parte interna de un recodo del río donde las velocidades del flujo son bajas y propician el asentamiento de las partículas). La necesidad de contar en todo tiempo con una profundidad suficiente de agua puede limitar las posibles ubicaciones. Tomando en cuenta la posibilidad de contaminación del agua del río por excretas de la aldea, la captación para el sistema de agua será ubicada aguas arriba de la aldea.

etapa 6: ubicación de la captación: aguas arriba de la aldea

El punto siguiente a considerar es el de la ubicación de la planta de tratamiento. Los factores que evidentemente influyen sobre ésta son la ubicación de la captación y el sistema de distribución. No obstante, la disponibilidad de un área y una topografía convenientes, las propiedades del suelo, y el nivel del agua del subsuelo, son factores aún más importantes.

Las propiedades de compresibilidad y resistencia del suelo determinan el tipo de cimentación a usarse. En lo posible deberá evitarse emplear cimentación sobre pilotes.

En el apéndice 4 se describe algunos procedimientos sencillos de estudio de suelos que pueden usarse cuando se diseña una planta de tratamiento de agua. Si el nivel freático es alto (es decir próximo a la superficie del suelo), la excavación será dificultosa y será necesario el drenaje ya sea al descubierto o por medio de pozos filtrantes. Es innecesario decir que esto aumentará la complejidad y el costo del proyecto. Además, un nivel freático alto

presenta la desventaja de tenerse que tomar medidas especiales para prevenir, tanto la contaminación del agua tratada por el agua subterránea, como el empuje hacia arriba que ejerce la presión del agua sobre la estructura. En el capítulo siguiente se aclara en mayor grado la influencia de las propiedades del suelo y del nivel freático sobre el diseño de la caja del filtro y de los aditamentos.

Nuestra aldea fue lo bastante afortunada para encontrar un terreno adecuado para la planta de tratamiento, cercano a la captación de agua, de modo que el(los) operador(es) de la planta puede(n) atender también las bombas de agua cruda.

etapa 7: ubicación del sitio: próximo a la captación

Ahora debe considerarse el desarrollo en detalle de la planta de tratamiento. La solución más adecuada depende de muchos factores, siendo los más importantes, el tamaño de la planta, los materiales de construcción a usarse y la posibilidad de futuras ampliaciones. Posibles esquemas configurativos de la planta se dan en el capítulo 6.

El dimensionamiento de los filtros es bastante simple, una vez que se han establecido el modo de operación y la tasa de filtración de diseño, fijada usualmente en 0.1 m/h.

Por cierto que la operación continuada por 24 horas al día dará lugar a la máxima producción por filtro pero, por otro lado, serán necesarios tres turnos lo que hace que los salarios de los operadores resulten relativamente altos. Por eso se recomienda que se compare los costos de área adicional de lecho filtrante con los costos que representan los salarios de los operadores (en caso que no se necesite de bombeo puede ser factible la operación continua con un solo turno). Otro punto importante

a este respecto es la consideración de que los filtros pueden operarse parte del día con el llamado régimen de filtración con tasa declinante. Este es el caso en el que el operador cierra la válvula de ingreso de agua cruda al término de su turno y detiene las bombas de agua cruda, pero deja abierta la válvula de salida del filtro. El agua sobrenadante drenará a través del filtro a una tasa continuamente declinante. Asumiendo una tasa de filtración de 0.1 m/h y un nivel del agua sobrenadante de 0.9 mts. sobre la cresta del vertedero del efluente, puede calcularse que después de ocho horas el nivel del agua habrá descendido unos 0.5 mts. y después de 16 horas alrededor de 0.7 mts. Esto significa una producción adicional de agua de $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ por día por ocho horas de filtración con tasa declinante y de $0.7 \text{ m}^3/\text{m}^2$ por día por 16 horas de filtración con tasa declinante. El área de lecho filtrante requerida puede reducirse de acuerdo con lo anterior.

En la tabla siguiente se da el área de lecho filtrante y el número de operadores requerido para la demanda diaria de diseño de $76 \text{ m}^3/\text{d}$ con diversos modos de operación.

Modo de operación	Area requerida de lecho filtrante	Número de Operadores
3 turnos (24 horas de operación)	31.7 m ²	3
2 turnos y filtración con tasa declinante durante la noche (8 h)	36.2 m ²	2
2 turnos	47.5 m ²	2
1 turno dividido en 4 h durante la mañana y 4 h durante la tarde y filtración con tasa de declinante durante los turnos	42.2 m ²	1
1 turno y filtración con tasa declinante durante la noche (16 h)	50.7 m ²	1
1 turno	95.0 m ²	1

El area de lecho filtrante requerida puede calcularse por medio de la siguiente fórmula general:

$$A = \frac{Q}{0.1 \times a + b}$$

donde: A = área de lecho filtrante requerida (m²)
 Q = demanda diaria de diseño (m³/d)
 a = número de horas de producción diaria a
 régimen normal de operación (es decir,
 tasa de filtración de 0.1 m/h)
 b = 0.5 si el período diario de filtración
 con tasa declinante equivale a ocho
 horas consecutivas
 = 0.7 si el período diario de filtración
 con tasa declinante equivale a 16
 horas consecutivas
 = 0 si no se aplica filtración con tasa
 declinante

Para el poblado de nuestro ejemplo, se decide operar la planta con un turno y filtración con tasa declinante durante la noche. Como regla práctica puede decirse que para plantas pequeñas (es decir, menores de 300 m³/d) éste será el modo más apropiado de operar. Para plantas cuyas capacidades varían entre 300 y 600 m³/d puede ser conveniente aplicar un régimen de dos turnos seguidos por filtración con tasa declinante, mientras que para plantas mayores es probable que la mejor elección sea operar con tres turnos.

etapa 8: modo de operación: un turno (8 h) y filtración
con tasa declinante durante
la noche (16 h)

El área del lecho filtrante requerida puede obtenerse de la
tabla anterior.

etapa 9: área del lecho filtrante neta: 50.7 m^2 , digamos
 52 m^2

Conocida el área total del lecho filtrante, debe determinarse
el número de filtros. El tamaño más adecuado para una unidad
de filtración es afectado por muchos aspectos de tipo construc-
tivo, tecnológico y operativo, como se explica en el capítulo 5.

En el caso de nuestro estudio, una buena solución podría ser
elegir dos filtros cada uno con un área neta de 26 m^2 . De esta
forma, la paralización de uno de los filtros significaría in-
crementar la carga del otro no más de 0.2 m/h , lo cual es bas-
tante aceptable. Además sería prudente reservar espacio para
una futura tercera unidad de 26 m^2 .

etapa 10: dimensión de los filtros: dos filtros de 26 m^2
cada uno, altura 3 m.

Las dimensiones de la unidad de pretratamiento (sedimentación
simple) pueden determinarse en base a los criterios de diseño
indicados en el apéndice 2.

Para nuestra aldea, se decide construir un reservorio grande
de sedimentación levantando una presa a lo largo de la orilla
del río.

Se deja que el agua fluya al reservorio para que se sedimente
el material en suspensión.

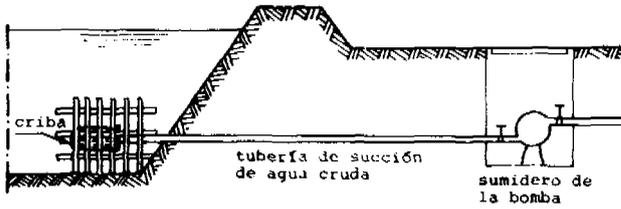


Figura 4.5. Captación de un reservorio de sedimentación

etapa 11: dimensiones del reservorio de sedimentación

profundidad 6 m

área 1,140 m²

tiempo de retención 3 meses

La filtración con tasa declinante requiere que se tomen medidas especiales en el abastecimiento de agua cruda. Como el nivel del agua en los filtros desciende 0.7 m durante la noche, será necesario reabastecer con un considerable caudal de agua a los filtros en la mañana. Esto significa que, o se aumenta la capacidad de la bomba o se construye un tanque elevado para almacenamiento de agua cruda. La ventaja de esta segunda alternativa es que puede dejarse que el agua fluya a los filtros también durante la noche incrementando así la producción de agua.

Las dimensiones del tanque de agua filtrada pueden determinarse a partir del patrón de consumo diario de agua y de la producción de agua filtrada. Suponiendo que el turno del operador empieza a las 7 a.m. y termina a las 3 p.m., la producción diaria de agua puede ser representada por la figura 4.6.



Figura 4.6. Producción diaria de agua

La diferencia acumulada entre el consumo de agua (dado en la figura 4.4.) y la producción de agua (dada en la figura 4.6.) determina la capacidad del tanque de agua filtrada. Si no hay información disponible puede fijarse la capacidad del tanque de agua filtrada en 50% de la producción diaria (método empírico). En la figura 4.6. puede verse que, para nuestra aldea, será necesario un volumen neto del 30% de la producción diaria.

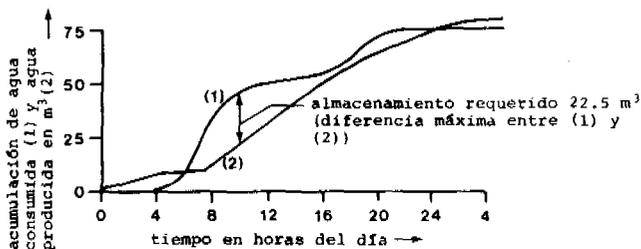


Figura 4.7. Gráfico acumulativo: producción y consumo de agua

Por lo tanto, la capacidad neta de almacenamiento del tanque tendrá que ser de $0.3 \times 76 = 22 \text{ m}^3$. Asumiendo una variación aceptable del nivel del agua de 1.5 m, el área neta deberá ser 15 m^2 .

etapa 13: dimensiones del tanque de agua filtrada

area 15 m^2 (circular 4.5 m)

altura 2.5 m

El diseño mecánico del sistema de abastecimiento de agua (bombas de agua cruda, distribución de agua filtrada) depende enteramente de las características topográficas del área comprendida y de las pérdidas de carga en las unidades de tratamiento y en la red de tuberías. Este último aspecto será discutido en el capítulo 5; en cuanto al anterior, se recomienda de manera general tratar de ubicar la planta de tratamiento a una altura suficiente para efectuar la distribución por gravedad.

El esquema de la planta de tratamiento se determina principalmente en base a consideraciones de eficiencia en la operación y el mantenimiento; en la figura 4.8. puede verse una configuración típica de una planta de tratamiento de agua.

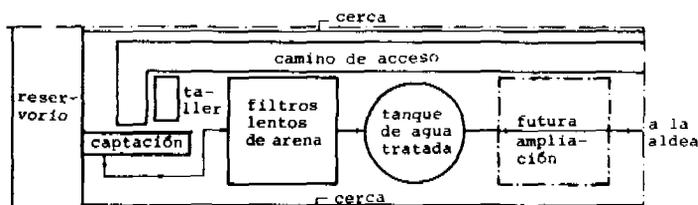


Figura 4.8. Configuración típica de una planta de tratamiento de agua

Se deberá entender que los procedimientos de diseño discutidos anteriormente son para usarse durante el planeamiento preliminar (discusión con autoridades, recolección de fondos) y requieren ser detallados en una etapa posterior. El diseño detallado de filtros lentos de arena y, en limitada extensión, de unidades

de pre y postratamiento se tratará en el capítulo siguiente. En el numeral 4.4. se resumen los criterios de diseño que pueden usarse para proyectar sistemas de abastecimiento de agua en el medio rural que utilizan filtros lentos de arena como parte del sistema.

4.4. CRITERIOS DE DISEÑO

1. período de diseño
15 años (varía entre 10 y 25 años)
2. período de depreciación

elementos de la construcción	25 años (15-40 años)
elementos mecánicos	15 años (15-25 años)
elementos eléctricos	15 años (15-25 años)
3. crecimiento de la población
depende íntegramente de las condiciones locales (índice de nacimientos, índice de defunciones, índice de migración); probablemente a cambiar con el tiempo. En la mayoría de los casos, el crecimiento anual variará entre 2% y 4%.
4. período de operación
de 8 a 24 horas diarias dependiendo del número de turnos (1-3); con uno o dos turnos la filtración con tasa declinante aumenta el período de operación.
5. demanda de agua
depende de las condiciones locales (véase el capítulo 2) y del sistema de abastecimiento de agua instalado:

surtidores públicos (pilones)	30 l.p.d. (10-50 l.p.d.)
conexiones domiciliarias	
(una conexión)	50 l.p.d. (20-100 l.p.d.)

6. calidad de agua

la calidad de agua tratada debe ajustarse a las normas de agua potable (véase el apéndice 1). Puede esperarse que los métodos de tratamiento den lugar a las siguientes mejoras máximas de la calidad del agua:

filtración lenta en arena:	turbiedad	max. 10 UN
	DQO	2-5 mg/l
	NMP <u>E.Coli</u>	100-1000/100 ml
sedimentación + filtración		
lenta en arena	: turbiedad	max. 100 UN
	DQO	2-10 mg/l
	NMP <u>E.Coli</u>	100-1000/100 ml
sedimentación + filtración		
lenta en arena + cloración	turbiedad	max. 100 UN
	DQO	2-10 mg/l
	NMP <u>E.Coli</u>	1000-10000/100 ml

7. tanques de sedimentación simple

profundidad	1.5-2.5 m
tiempo de retención	4-12 horas
carga superficial	2-10 m/d
carga de derrame en el vertedero	3-10 m ³ /m/h
relación largo/ancho	4:1 a 6:1
relación largo/profundidad	5:1 a 20:1

8. filtración rápida "gruesa"

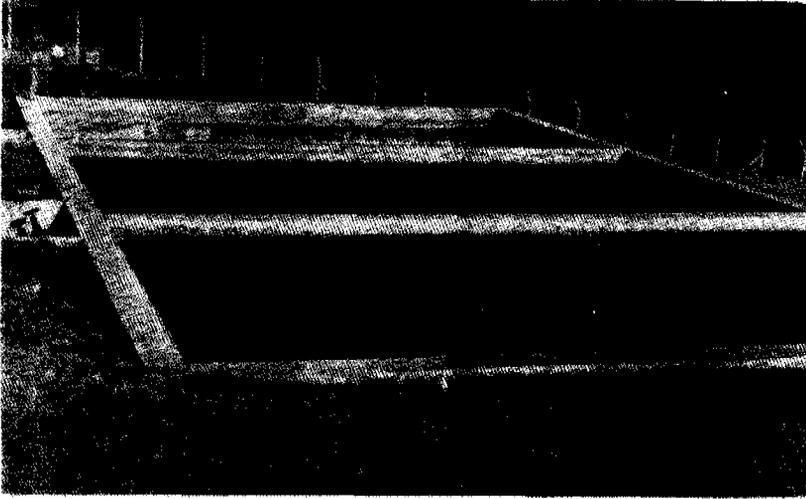
velocidad de filtración	0.5 m/h (0.5-1 m/h)
área de cada lecho filtrante	10-100 m ²
número de lechos filtrantes	mínimo 2
altura del agua sobrenadante	1 m (1-1.5 m)
profundidad inicial del lecho filtrante	1 m (1-1.4 m)
profundidad del sistema de drenaje	0.4 m (0.3-0.5 m)
características del soporte del filtro	véase la figura 5.12.

9.	prefiltración con flujo horizontal	
	velocidad de filtración horizontal	0.6 m/h (0.4-1 m/h)
	área de cada lecho filtrante	10-100 m ²
	profundidad del lecho filtrante	1 m (0.8-1.5 m)
	longitud	5 m (4-10 m)
	características del lecho filtrante	véase el dibujo A.2.6.
10.	filtros lentos de arena	
	velocidad de filtración	0.1 m/h (0.1-0.2 m/h)
	área de cada filtro	10-100 m ²
	número de filtros	mínimo 2
	altura del agua sobrenadante	1 m (1-1.5 m)
	profundidad del medio filtrante	1 m (1-1.4 m)
	profundidad del sistema de drenaje	0.4 m (0.3-0.5 m)
	granulometría del lecho filtrante	$d_{ef} = 0.15-0.35 \text{ mm}$ CU (*) = 2-5
	características del soporte del filtro	véase figura 5.12.
11.	reservorio de agua filtrada	
	capacidad de almacenamiento	30-50% de la producción diaria de agua
	altura del tanque	2.5-4 m
	variación del nivel de agua filtrada	1.5 m (1-2 m)
	área	10-100 m ²
12.	tuberías de agua	
	velocidad de flujo en las tuberías principales de influente*, efluente y drenaje	0.3-0.6 m/s

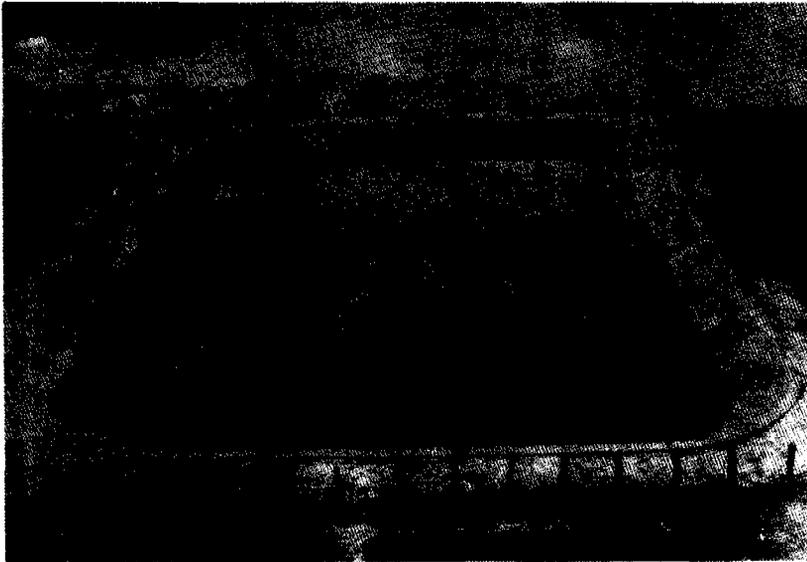
13. sistema de cloración

dosaje máximo	1.5 mg/l (1-5 mg/l)
período de contacto (desinfección)	20-30 minutos
período máximo de almace- namiento de sustancias químicas	1-6 meses, dependiendo de cada sustancia

CU(*) = coeficiente de uniformidad



Filtros rectangulares de hormigón, Karachuongo Occidental,
Kenya



Filtros de taludes protegidos, Kranuan, Tailandia
(al fondo laguna de presedimentación)

5. CONSTRUCCION Y ESPECIFICACIONES DE LOS ELEMENTOS DE LAS PLANTAS DE FILTRACION LENTA EN ARENA

Este capítulo trata aspectos detallados del diseño y construcción de filtros lentos con arena. Como un diseño detallado depende en gran medida de las circunstancias locales, no es posible hablar de un "diseño estándar". La intención de este capítulo (y, ciertamente, de este manual) está dirigida más a explicar e ilustrar métodos de diseño y construcción que a dar recetas de aplicación universal.

Para mayor claridad, se explicará el diseño detallado en base a ítems esenciales, tales como dimensiones y distribución de las unidades, construcción de la caja del filtro, tuberías, medidas de regulación del filtro y del bombeo, sistema de drenaje, estructura de entrada, estructura de salida, unidades de pretratamiento y postratamiento y almacenaje de agua filtrada.

El capítulo 6 presenta cuatro diseños típicos usados para planta de filtración lenta en arena.

5.1. DIMENSION Y DISTRIBUCION DE LAS UNIDADES DE FILTRACION

Como se ha visto ya en el capítulo 4, el área mínima requerida de lecho filtrante A (m^2) puede obtenerse dividiendo la capacidad de diseño Q (m^3/h) entre la tasa de filtración de diseño v (m/h). Sin embargo, aún debe determinarse el número de lechos filtrantes N y el área de cada lecho filtrante F (el producto N por F debe ser por lo menos igual a A).

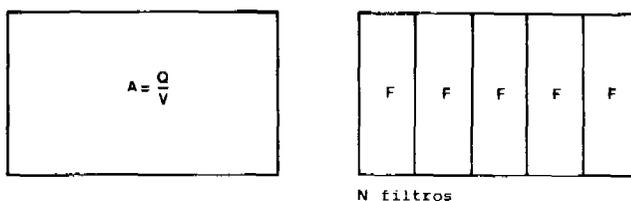


Figura 5.1. Unidades de filtración

Varias consideraciones determinan el número de filtros requeridos, por ejemplo:

- a. para mantener una operación segura e ininterrumpida se necesita, por lo menos, dos filtros (si hay dos filtros y uno de ellos está en limpieza, la tasa de filtración del otro no debe exceder de 0.2 m/h, lo cual es aceptable).
- b. a menudo se menciona el peligro de cortocircuito (**) y efectos laterales como argumentos en contra del uso de pequeñas unidades de filtro. Sin embargo, se piensa que estos fenómenos pueden evitarse fácilmente haciendo áspera la pared del lecho filtrante, tal como se muestra en la figura 5.2.

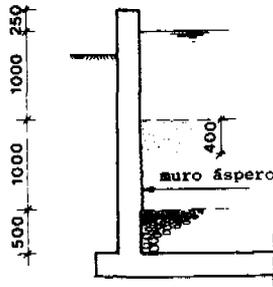


Figura 5.2. Medidas para evitar cortocircuitos en un filtro lento de arena

- c. en los países occidentales la tendencia es proyectar unidades grandes, pues los costos iniciales por metro cuadrado de área filtrante tienden a disminuir conforme crece el tamaño de los filtros; sin embargo, puede ser que éste no sea el caso en los países en desarrollo. Las unidades mayores requieren por lo general de técnicas constructivas más avanzadas (por ejemplo, empleo de hormigón armado o pretensado) y mano de obra calificada, que pueden no encontrarse fácilmente en los países en desarrollo.

(**) cortocircuito = cuando el agua se desliza a lo largo de la pared del filtro sin filtrarse a través de la arena. (Nota del Traductor).

Además, las unidades más grandes pueden requerir mayor cantidad de materiales de construcción para estar en capacidad de resistir mayores cargas. Es decir, para dar un ejemplo se muestra en la figura 5.3. la ventaja constructiva que constituye tener una pared divisoria, la que hace que sea menos masiva la pared que corre a lo largo de la longitud L del filtro en la primera mitad de la figura.

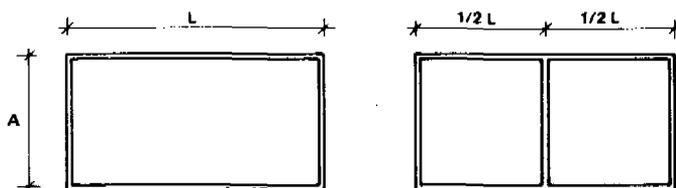


Figura 5.3. Filtro rectangular con pared divisoria

- d. debe garantizarse que la construcción sea hermética, especialmente cuando la caja del filtro está ubicada por debajo del nivel freático. Esto significa que debe prestarse especial atención a la contracción del concreto o de la mampostería, así como a los asentamientos diferenciales y a las tensiones originadas por los cambios de temperatura. Como todos estos fenómenos dependen del tramo de las paredes, las cajas de filtro más pequeñas se encuentran favorecidas en este respecto. Aunque hay otros factores que influyen sobre estos fenómenos (por ejemplo la contracción del hormigón es menor si se baja la relación agua-cemento y la cantidad de cemento y si se mejora la compresión; los asentamientos dependen de las propiedades del subsuelo y del tipo de cimentación; las tensiones por temperatura dependen del

clima); se sugiere aquí, como regla general, que la longitud no sobrepase los 20 metros ya que tramos mayores exigen medidas especiales (juntas de dilatación, refuerzo secundario, etc.).

- e. la cantidad requerida de materiales depende de la geometría y distribución de los lechos filtrantes. La figura 5.4. presenta algunos modelos de distribución de instalaciones de filtros lentos.

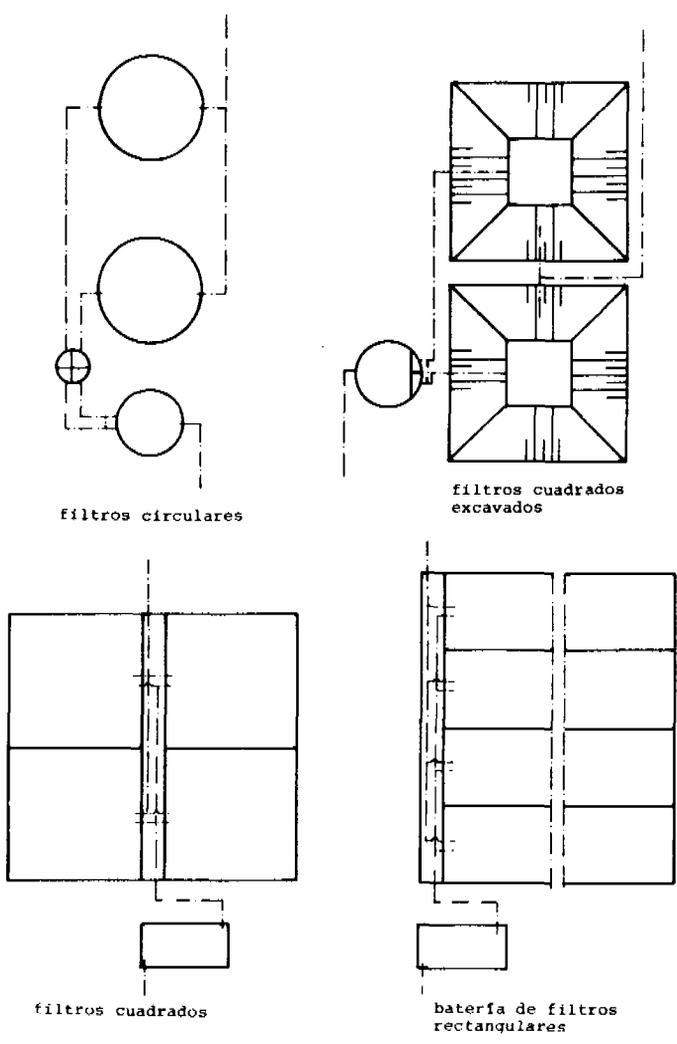


Figura 5.4. Esquemas de filtros lentos

Los filtros circulares presentan ventajas estructurales obvias (esfuerzos únicos de compresión o de tracción, ausencia de momentos de flexión), que redundan en el uso económico de los materiales.

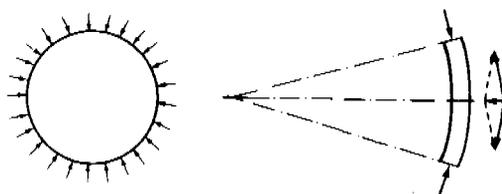


Figura 5.5. Principio de presión única

Al crecer el tamaño de la planta de tratamiento, sus desventajas tienden a neutralizar las ventajas (no es posible su construcción en serie, no hay un acceso fácil a las tuberías y a los filtros).

Si para el caso de filtros circulares se escoge un máximo de dos unidades, con un diámetro máximo de diez metros y una velocidad de filtración de 0.1 m/h, dichos filtros circulares pueden ser ventajosos para instalaciones hasta de 20 m³/h.

Los filtros rectangulares alineados a lo largo de una tubería común dan resultados óptimos cuando se trata de instalaciones más amplias (tres o más filtros). El acceso a las tuberías y a los reguladores del filtro es fácil, la instalación está bien organizada y las ampliaciones futuras pueden ejecutarse sin problemas. Desde un punto de vista estructural, las plantas rectangulares tienen la ventaja de que todos los lados mayores tienen cargas simétricas, a excepción de los ubicados en los extremos, mientras que la mayor parte de las cargas actúan sobre

los muros cortos y los muros soportantes. Esta ventaja no rige si, por cualquier razón, se excava el lecho de arena de uno de los filtros.

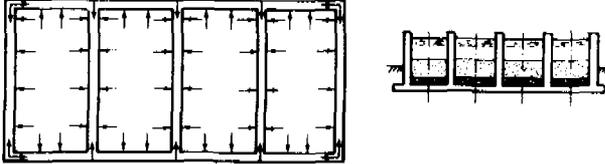


Figura 5.6. Diagrama de presiones para filtros rectangulares

Los filtros de sección cuadrada tienen menor longitud total de muros que los rectangulares para un área dada de lecho filtrante, pero son menos favorables respecto del diseño estructural. Además, una planta cuadrada presenta desventajas en lo que respecta a futuras ampliaciones (para plantas cuadradas puede considerarse como máximo un número de cuatro filtros). Si los filtros se construyen en una excavación, la planta cuadrada tiene la ventaja de un menor movimiento de tierras.

Este párrafo concluye con un cuadro que indica las dimensiones y secciones de filtros lentos de arena para diversas capacidades.

Cuadro 5.1. Geometría y dimensiones de filtros lentos de arena para diversas capacidades (para una tasa de filtración de 0.1 m/h).

Capacidad m ³ /h	Planta circular	Planta rectangular	Planta cuadrada
5	D = 5.66 m (2x)	-	5 x 5 m (2x)
10	D = 8 m (2x)	5 x 10 m (2x)	7.1 x 7.1 m (2x)
20	D = 9.25 m (3x)	6 x 11 m (3x)	8.2 x 8.2 m (3x)
50	-	6.5 x 20 m (4x)	11.2 x 11.2 m (4x)
100	-	6.5 x 25 m (6x)	-

donde: D = diámetro del filtro circular
(2x) = dos filtros

5.2. CONSTRUCCION DE LA CAJA DEL FILTRO

La caja de un filtro lento de arena puede ser o una estructura rígida cerrada de hormigón; o una estructura articulada semicerrada de hormigón ciclopeo, mampostería, albañilería o ferrocemento; o una estructura excavada con taludes protegidos.

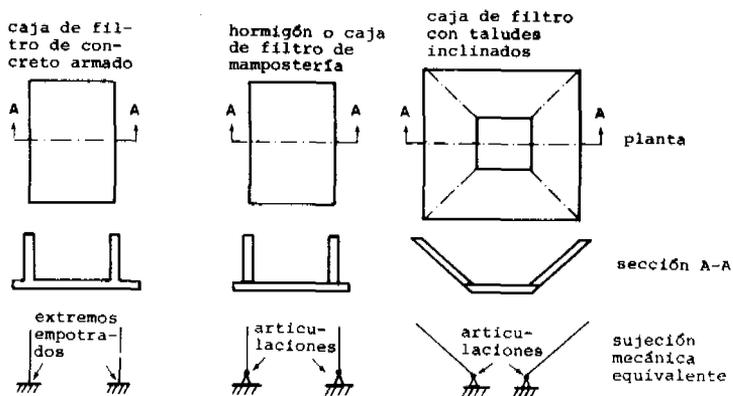


Figura 5.7. Diseño estructural de una caja de filtro y su equivalente mecánico

Filtro de taludes protegidos

Un filtro con paredes en talud tiene la ventaja de que sus costos de construcción son menores que los de las cajas de filtro cerradas o semicerradas, y a la vez necesita mano de obra menos calificada. El acceso a los filtros para su limpieza es, también, algo más sencillo, y hay menor riesgo de que se produzca cortocircuitos a lo largo de las paredes, ya que el lecho de arena tiende a ser compactado contra las paredes en talud por las capas superiores. Como material de revestimiento puede usarse mampostería, ripio*, barro amasado, hormigón ciclopeo o mortero de arena cemento o arena bituminosa reforzada con malla de gallinero.

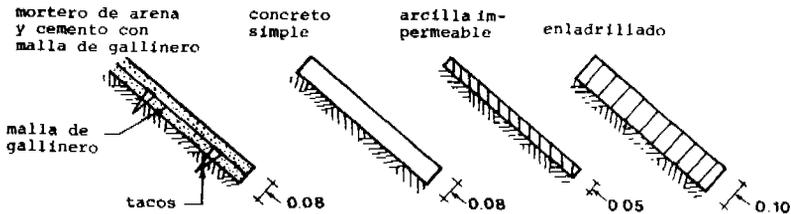


Figura 5.8. Diversos revestimientos para filtros con paredes en talud

La inclinación de los muros depende por supuesto de la estabilidad del subsuelo, pero de manera general se considera que una inclinación 1:2 será adecuada. Como el filtro está excavado en el subsuelo, sólo ocurrirán pequeños asentamientos aún cuando haya capas de suelo de alta compresibilidad. Algunas desventajas de los filtros de taludes protegidos pueden ser:

1. El área de terreno requerida es mayor que en el caso de estructuras con paredes verticales (Nota: debe tomarse como

área de diseño de los filtros de taludes el área neta del lecho filtrante a una profundidad de éste no menor de 0.6 metros).

Este aspecto no necesariamente debe presentar mayores dificultades en aquellas localidades que disponen de terreno suficiente.

2. Las tuberías y los medios de control del filtro son menos accesibles.
3. Nunca se puede garantizar la hermeticidad de la construcción. Si el nivel freático es bajo, éste puede no ser de gran importancia (excepto en lo referente a pérdidas), pero si es alto se presenta el riesgo de que se contamine el agua filtrada.
4. Cuando la excavación del filtro se realiza directamente en el suelo natural, el nivel del agua filtrada al final de la carrera del filtro se encuentra a más de un metro por debajo del nivel del terreno. Esto implica que la estructura de control del filtro y/o del tanque de agua filtrada deben estar ubicados a mayor profundidad. (El tanque de agua filtrada debe, por supuesto, construirse con paredes verticales y ser cubierto).
5. Puede ocurrir un deterioro en la condición de los taludes debido al crecimiento de juncos y otra clase de vegetación.

Por cierto que también se puede construir un filtro de taludes con embancamiento de tierras sobre el nivel del terreno. Esto evita en gran medida las desventajas registradas en los puntos 3 y 4 pero también da por resultado mayores presiones sobre la capa superior del suelo lo cual puede generar asentamientos y fisuras.

Filtros de muros verticales

El diseño de filtros de muros verticales se hace siguiendo la práctica normal de diseño estructural.

Un parámetro muy importante del diseño estructural es la profundidad del cimiento en relación al nivel del terreno. Debe tenerse en cuenta los siguientes factores:

1. La profundidad mínima del cimiento puede fijarse en 0.3 m en áreas donde no hay riesgo de temperaturas bajo cero.
2. La altura mínima del remate del filtro sobre el nivel del terreno debe ser de 0.5 con el fin de evitar el ingreso de polvo, de animales y aún de niños que juegan.
3. La ubicación profunda del lecho filtrante tiene ventajas estructurales.

La carga sobre los muros disminuye en razón de que la presión del suelo exterior compensa la presión interior (véase diagrama de presiones). A este respecto, puede considerarse óptima una altura del remate de la caja del filtro sobre el nivel del terreno de 0.5 a 1.0 m.

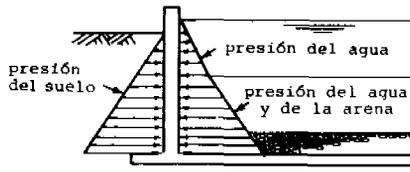


Figura 5.9. Diagrama de presiones en una pared de la caja del filtro

4. La ubicación profunda del lecho filtrante es ventajosa respecto de la carga sobre el suelo. Cuando la ubicación es profunda la carga sobre el suelo es menor resultando de ello menores asentamientos y fisuras.
5. Un nivel freático alto exige que se coloque el filtro en una posición elevada o en su defecto que se construya una caja de filtro de hormigón. En este caso, con el objeto de prevenir la contaminación del agua filtrada, es fundamental garantizar la hermeticidad de la caja del filtro. El hormigón simple y la mampostería necesitan protección adicional y diseño muy cuidadoso para asegurar la hermeticidad, por lo que es mejor evitar su uso.
6. Un nivel freático alto puede requerir también que se tomen medidas especiales para prevenir que la construcción sea sometida a empujes hacia arriba por acción de la presión del agua. Sin embargo, si no se baja el lecho de arena del filtro más de 0.4 m, tal como se indica en el capítulo 3, no hay peligro de que la construcción tienda a flotar. No obstante, es siempre importante realizar una verificación sobre este problema, y sobre el tanque de agua filtrada que de tiempo en tiempo puede quedar vacío. También puede ser necesario tomar precauciones especiales contra el empuje ascendente (por ejemplo bajando el nivel freático mediante bombeo) durante la construcción del filtro y en caso de reparaciones, cuando se excava completamente el lecho de arena.
7. El nivel de agua deseado en la planta de tratamiento y la carga disponible de agua cruda pueden influir sobre la profundidad del filtro; en general, es deseable trabajar a flujo por gravedad a través de toda la planta de tratamiento (tanque de sedimentación más filtro lento de arena más tanque de agua filtrada).

En el caso que se tenga un filtro con paredes de hormigón, el fondo del filtro también será de hormigón y la junta rígida entre el fondo y la pared (extendiendo el refuerzo) transmitirá las presiones laterales a la cimentación.

Si las paredes son de hormigón simple, ferrocemento, o mampostería, una cimentación tipo solera (véase figura 5.10.) da lugar a un asentamiento parejo de la caja del filtro, evita la pérdida de agua a través de la junta entre la pared y el cimiento y simplifica la obra. En este caso, puede considerarse que la junta entre la solera y la pared actúa como una articulación a través de la cual sólo pueden transmitirse presiones laterales limitadas. Por lo tanto, sólo puede emplearse una estructura de hormigón simple, ferrocemento o mampostería cuando las presiones interiores y exteriores no difieren mayormente. El solado de cimentación puede ser de hormigón simple, con proporciones 1:2:3, de 0.20 m de espesor (véase también el apéndice 5). En este caso, una carga desigual dará lugar al desarrollo de grietas. Es por lo tanto aconsejable reducir al mínimo la longitud de la "T" del cimiento, es decir a unos 0.10 a 0.20 m. Para evitar la formación de grietas es del todo aconsejable colocar una armadura mínima de, por ejemplo, 8 \emptyset - 200 (es decir barras de acero de 8 milímetros de diámetro colocadas cada 200 milímetros) en ambas direcciones en las partes superior e inferior del solado.

La resistencia de la junta entre la cimentación y las paredes del filtro puede acrecentarse colocándose barras de acero de, por ejemplo, 16 milímetros cada 500 milímetros (véase también la figura 5.10.)

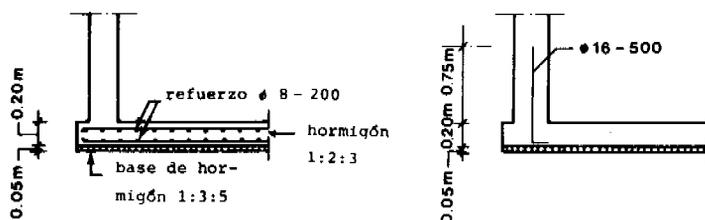


Figura 5.10. Solado de cimentación para filtros de paredes verticales

Se puede emplear filtros circulares de hormigón simple cuando la profundidad de la cimentación es relativamente grande. La presión resultante exterior del suelo se transmite entonces por compresión a las paredes de la caja del filtro. Sin embargo, si se elige una ubicación elevada de la caja del filtro, la presión de la arena y del agua contenida dentro de la caja del filtro ocasionarán fuerzas de tensión sobre las paredes del filtro. No es posible, en este caso, el uso de hormigón simple ni de mampostería, pero cuando se trata de filtros pequeños o medianos, sí puede usarse estructuras circulares de ferrocemento reforzadas con acero, para que éste absorba los esfuerzos de tensión (véase el apéndice 5 para detalles sobre construcción de ferrocemento). Los filtros circulares pueden construirse también de hormigón, y en ese caso la profundidad del cimiento puede ser alta o baja.

Los filtros rectangulares se harán, por lo general, de hormigón (excepto para pequeñas instalaciones, que pueden ser de hormigón simple o de mampostería). La sección rectangular puede usarse para cualquier dimensionamiento y cualquier profundidad de cimentación. El espesor de la pared de la caja del filtro y la cantidad de armadura de refuerzo usado depende de las dimensiones

de las cajas de los filtros, de su configuración y geometría, y de la profundidad de su cimentación.

Para concluir este párrafo se realiza un resumen de las posibles construcciones de la caja del filtro así como de las condiciones que rigen su aplicación. Véase el cuadro 5.2.

Cuadro 5.2. Varios tipos de construcción de cajas de filtro y su aplicabilidad en filtración lenta.

1. filtro de taludes protegidos;	
aplicable para filtros pequeños o medianos de planta cuadrada	
Dimensión	2 - 20 m de largo y de ancho
Espesor de las paredes	0.05 - 0.10 m
interesantes cuando se dispone de bajos recursos financieros	
2. filtro de hormigón simple o mampostería;	
aplicable para filtros circulares con cimentación profunda	
Dimensión	1 - 10 m de diámetro
Espesor de pared	0.2 - 0.3 m
aplicación limitada para filtros de planta no-circular (filtros pequeños, nivel freático profundo, diseño estructural cuidadoso)	
3. filtro de ferrocemento	
aplicables para filtros circulares pequeños con cimentación profunda o superficial (presión universal o zunchado)	
Dimensión	1 - 5 m de diámetro
Espesor de pared	0.06 - 0.12 m
se producirá cierta deformación de la pared del filtro y la construcción no es totalmente hermética, pero esto puede ser aceptable	

4. filtro de hormigón armado aplicable para cualquier dimensión, geometría y condición topográfica;
- los filtros circulares tendrán un espesor de pared algo menor que los filtros rectangulares (es decir, 0.15 - 0.20 m en vez de 0.25 m);
- interesantes cuando los recursos financieros y mano de obra calificada son más fácilmente disponibles.

5.3. ESTRUCTURA DE LA ENTRADA

Las funciones de la estructura de la entrada pueden ser:

1. asegurar una distribución pareja del agua cruda sobre el área del lecho filtrante. Esto generalmente se consigue si la velocidad de ingreso del agua entrante es baja, digamos del orden de 0.1 m/s.
2. reducir la energía del agua entrante con el fin de prevenir turbulencias en la capa de agua sobrenadante y daños al Schmutzdecke. Esta función también requiere una baja velocidad de ingreso. Además, la estructura de la entrada puede estar ubicada justo sobre el lecho filtrante, con el fin de prevenir que se viertan chorros de agua sobre el lecho filtrante. También puede prevenirse la ruptura del Schmutzdecke colocando losas de hormigón o de piedra natural sobre el lecho filtrante en el punto de entrada del agua cruda. El ancho total mínimo de la estructura de entrada puede determinarse dividiendo el flujo de diseño (m^3/h) entre 20. De esta manera la altura del agua que rebosa sólo será de unos pocos centímetros, dando lugar a un flujo suave.
3. drenar el agua sobrenadante cuando es necesario limpiar el filtro.
Esta puede ser otra razón para situar la estructura de la boca de entrada ligeramente por encima del lecho filtrante.

Sin embargo, después que se ha raspado varias veces el lecho filtrante, su nivel baja hasta 0.4 m. Esto significa que el agua sobrenadante no puede ser totalmente drenada a través de la estructura de la boca de entrada, a menos que se adopte una solución que incluya compuertas de vertedero desmontables (por ejemplo losas de hormigón o cuarterones de madera de 0.05 x 0.10). De lo contrario, la única forma de evacuar el agua que queda en los 0.4 m sobre el lecho filtrante, es abriendo la válvula de salida. Sin embargo, como la resistencia del filtro será entonces muy alta, puede esperarse que el tiempo de drenaje sea prolongado.

4. proporcionar un medio de graduar la altura del agua sobrenadante. Esto puede efectuarse ya sea por medio de un flotador con válvula de mariposa, de una válvula de compuerta operada a mano, o mediante un vertedero de rebose.
5. proporcionar un medio de cerrar el flujo de agua cruda. Esto se hace generalmente por medio de una válvula de compuerta accionada a mano.

Figura 5.11. muestra posibles diseños de estructura de entrada

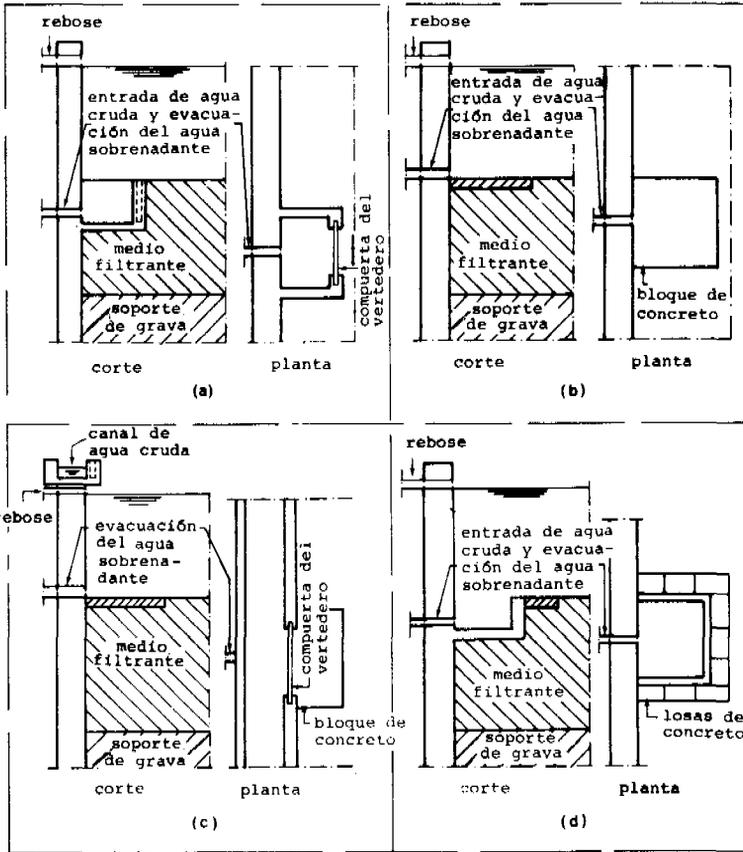


Figura 5.11. Estructuras de la boca de entrada

5.4. ESTRUCTURA DE LA SALIDA

Las funciones de la estructura de la salida pueden ser:

1. asegurar que se elimine la posibilidad de presiones negativas en el lecho filtrante. A este fin, se emplea usualmente en la línea del efluente un simple vertedero de

rebose cuya cresta queda ligeramente por encima del lecho de arena. Otras posibilidades incluyen un tubo de salida vertical cuya entrada queda justo por encima del nivel superior del lecho de arena.

2. proporcionar un medio de medir el flujo a través del lecho filtrante. El vertedero antes mencionado también puede usarse para este propósito mediante un flotador calibrado (para aumentar la precisión de esta lectura se puede usar un vertedero de aforo en V). También se puede ajustar el flujo a través del filtro a un valor predeterminado por medio de vertederos flotantes.
3. proporcionar un medio de fijar la tasa de filtración. La forma más sencilla de hacer ésto es graduando a mano la válvula de mariposa. En el caso que se emplee un vertedero flotante, el cual también cumple la función prescrita en el acápite 2 anterior, entonces debe adaptarse su nivel mínimo de entrada de acuerdo al nivel superior del lecho de arena. Si se está limpiando uno de los filtros, debe incrementarse la velocidad de filtración y, por ende, la capacidad de los vertederos flotantes de los otros filtros (incrementándose la profundidad de inmersión de la entrada del vertedero flotante).
4. proporcionar un medio de cerrar el filtro y drenarlo. Las estructuras que emplean tubos verticales de salida tendrán que estar equipadas, por lo tanto, con tubos de drenaje separado. Para cerrar el filtro se puede usar una válvula de compuerta.
5. proporcionar un medio de llenar en forma ascendente el filtro con agua limpia a través del sistema de drenaje después que aquél ha sido raspado.

Aunque no es absolutamente necesario, es una gran ventaja que el agua filtrada sea aerada por medio de un vertedero de rebose. Con esta finalidad la estructura de salida debe estar bien ventilada.

Es deseable contar con un registro de inspección para facilitar el control de los vertederos y las válvulas.

La relación entre el caudal y la altura de agua en un vertedero de aforo en V^* está explicado con mayor detalle en el apéndice 6.

La figura 5.12. presenta algunos diseños esquemáticos adecuados para la estructura de la boca de salida.

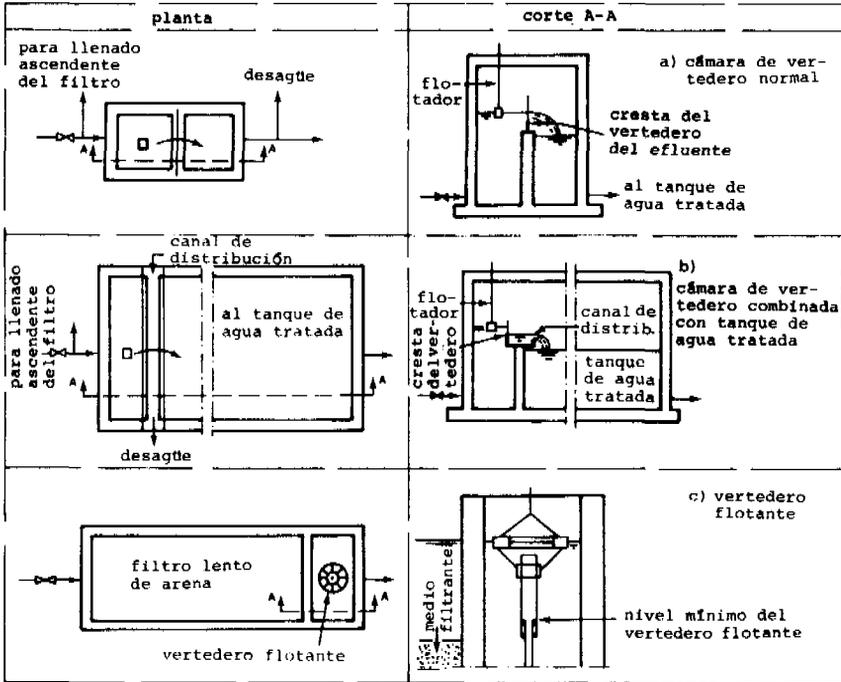


Figura 5.12. Estructuras de salida

5.5. SISTEMA DE DRENAJES

El sistema de drenajes tiene una doble función:

1. dar soporte al medio filtrante y evitar que éste sea acarreado hacia el sistema de drenajes
2. asegurar una tasa de filtración uniforme sobre todo el área filtrante.

Con el fin de evitar pérdidas de medio filtrante se coloca una serie de capas de grava de tamaño creciente entre el medio filtrante y el sistema de drenajes propiamente dicho. Por lo general será práctico usar tres capas de grava con tamaños que van de 1-1.4, 4-6, 16-23 mm. El espesor de cada una de estas capas debe ser de alrededor de 100-150 mm. Para el sistema de drenajes en uso (véase figura 5.13), puede manifestarse de manera general que son de confiar las características hidráulicas de los sistemas que emplean losas de hormigón prefabricado, ladrillos y hormigón poroso, sin necesidad de entrar en mayores cálculos. Para estos sistemas el área por donde el agua fluye libremente, es relativamente extensa. Los sistemas que usan tubos perforados y grava, o piedra triturada, pueden ser dimensionados en base a los criterios siguientes:

tubos perforados		
velocidad máxima en el distribuidor	0.3	m/s
velocidad máxima en los laterales	0.3	m/s
espaciamiento de los laterales	1.5	m (1-2 m)
dimensión de agujeros en los laterales	3	mm (2-4 mm)
espaciamiento de agujeros en los laterales	0.15	m. (0.1-0.3 m)
grava o piedra triturada		
altura de la capa	0.15	m
tamaño de la grava	25-50	mm
área máxima del lecho filtrante	25	m ²

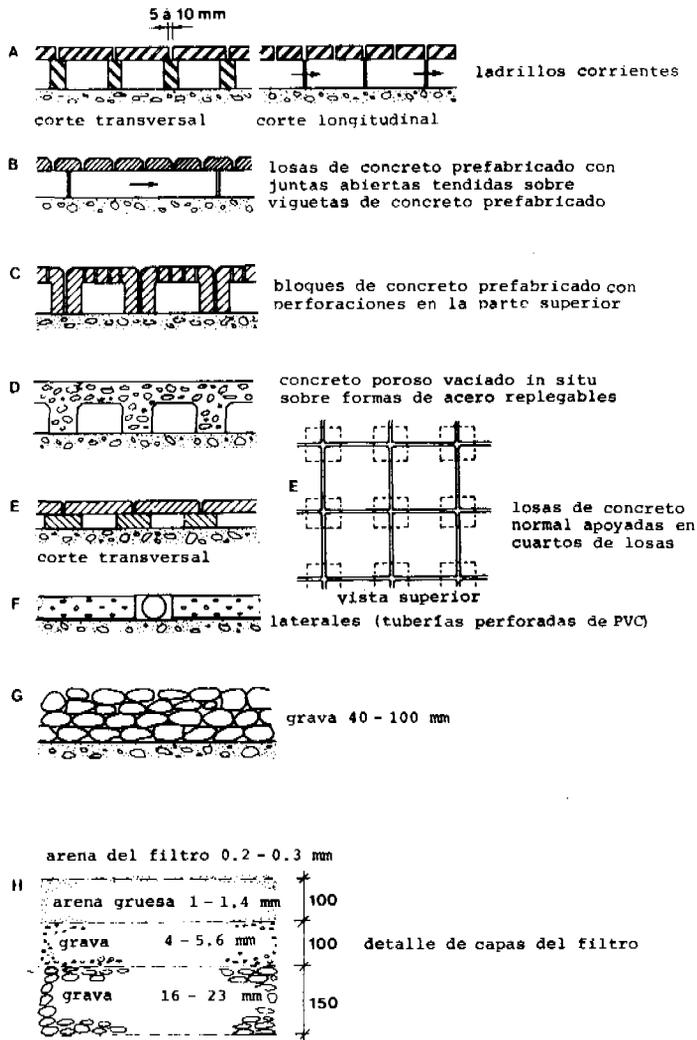


Figura 5.13. Sistema de drenajes

5.6. DISPOSITIVOS DE CONTROL DEL FILTRO

En la figura 5.14. se da un diagrama de flujo de una instalación típica de filtración lenta.

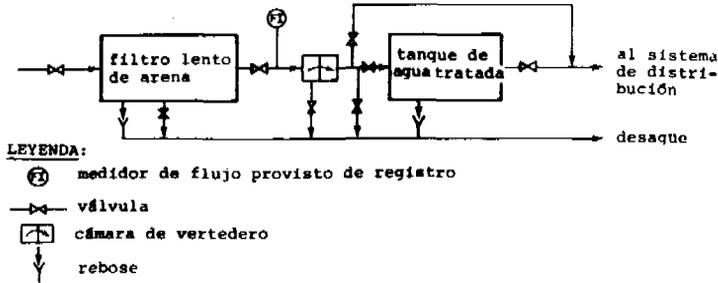


Figura 5.14. Diagrama de flujo de una instalación típica de filtración lenta en arena

El dispositivo de cierre más sencillo para una tubería es la válvula de compuerta (figura 5.15a), mientras que para conductos abiertos puede usarse compuertas de vertedero (figura 5.15b).

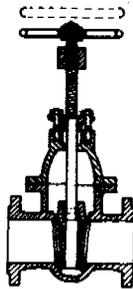


Figura 5.15a. Válvula de compuerta

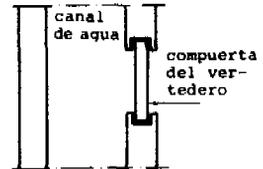


Figura 5.15b. Compuerta de vertedero

Los dispositivos de control de flujo tanto en la estructura de la entrada como en la salida ya han sido discutidos en el capítulo 5.3 y en el capítulo 5.4., respectivamente. Un dispositivo adecuado de control de flujo en tuberías es la válvula de mariposa, mostrada en la figura 5.16a y b.

Aún cuando para controlar el flujo en una tubería puede usarse también una válvula de compuerta, la válvula de mariposa permite ejercer un control más conveniente y preciso. La explicación está en que las características del flujo en la válvula de compuerta son tales que este flujo es relativamente independiente de la posición de la válvula. Sólo cuando la válvula está cerrada en más del 90% el flujo empieza a disminuir considerablemente. Esto significa que es un tanto dificultoso graduar el flujo con precisión.

Por el contrario, la válvula de mariposa se caracteriza porque permite una relación más directa entre el porcentaje de apertura y la variación del flujo.

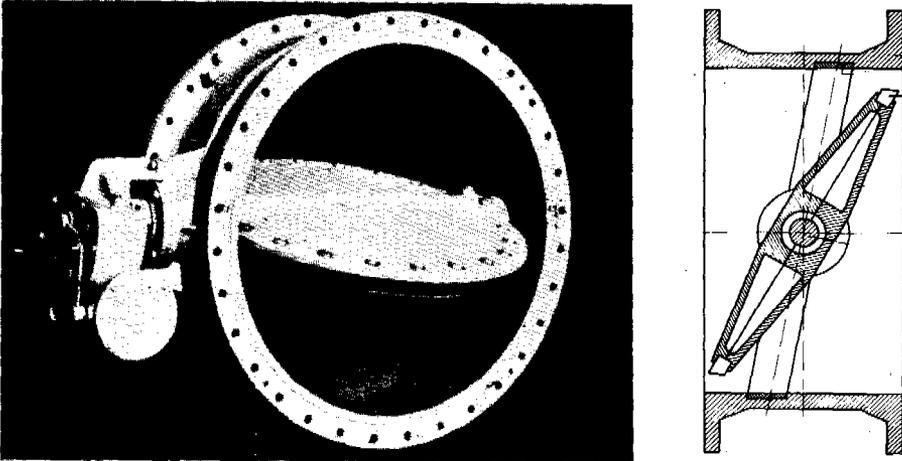
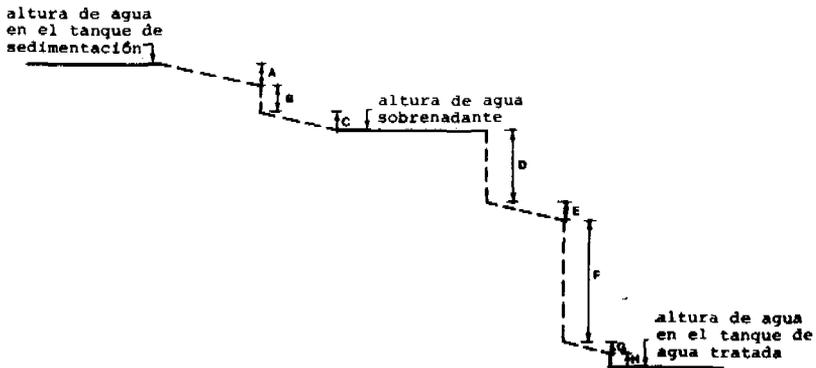


Figura 5.16a y b. Válvula de mariposa

El dispositivo de control del filtro determina el flujo y la carga de agua a través de la planta. Un parámetro importante a este respecto es el perfil hidráulico el cual da la carga de agua al fluir ésta a través de la planta. En la figura 5.17 se muestra el perfil hidráulico* para el caso de una instalación típica. Regulando las válvulas de control, se mantiene constante la pérdida de carga en la totalidad de la planta durante las diversas condiciones operativas.



- A = pérdida de carga en la tubería entre el tanque de sedimentación y la válvula 1
- B = pérdida de carga ocasionada por la válvula 1
- C = pérdida de carga en la tubería entre la válvula 1 y el filtro lento de arena
- D = pérdida de carga ocasionada por el filtro lento de arena; (aumenta durante la carrera del filtro)
- E = pérdida de carga en la tubería entre el filtro lento de arena y la válvula 2
- F = pérdida de carga ocasionada por la válvula 2 reguladora de filtro; (deberá ser paulatinamente disminuida durante la carrera del filtro con el fin de mantener constante el valor $D + F$)
- G = pérdida de carga en la tubería entre la válvula 2 y el tanque de agua filtrada
- H = pérdida de carga ocasionada por el vertedero efluente

Figura 5.17. Perfil hidráulico en una planta de filtración lenta en arena (flujo por gravedad)

5.7. UNIDADES DE PRETRATAMIENTO Y POSTRATAMIENTO

En el capítulo 4.3. y en los apéndices 2 y 3 se dan criterios de diseño para el diseño de reservorios de presedimentación y sistemas de cloración de seguridad. Los aspectos que concierne a distribución, dimensión de las unidades, construcción de la caja, etc., descritos para los filtros lentos, son esencialmente iguales para el diseño estructural detallado de tanques de sedimentación. Por cierto que la carga de agua del tanque de sedimentación debe ser algo mayor (por ejemplo 0.10 m) que para el filtro lento de arena (véase figura 5.17.), por consiguiente el nivel superior del tanque de sedimentación debe quedar más elevado. Además, es necesario adoptar medidas para la remoción de lodos (fondo inclinado, dispositivo de remoción de lodos o remoción manual de lodos) y para la entrada y salida del agua. Con relación al diseño detallado del equipo de dosificación de cloro (véase apéndice 3), puede ser conveniente para el caso de plantas mayores, construir una caseta de cloración en la parte superior del tanque de agua filtrada. Tanto el cloruro de cal como el hipoclorito de alta pureza necesitan estar protegidos de la luz solar, de la humedad y de temperaturas altas, por lo que es mejor almacenarlos en un cuarto cerrado y bien ventilado.

La solución de cloro puede prepararse en un cuarto aparte agregando una cantidad fija de cloruro de cal o hipoclorito a un volumen de agua. La solución de cloro fluye luego al tanque de dosificación desde donde un instrumento dosificador y una tubería la conducen hasta el agua filtrada que fluye por debajo. Un vertedero es un lugar conveniente para mezclar la solución de cloro con el agua filtrada.

La caseta de cloración, que puede incluir un cuarto de operador, puede construirse de cualquier material disponible localmente,

siempre y cuando el cloro almacenado no se vea afectado por la humedad. Las consecuencias estructurales de la casetas de cloración sobre el tanque de agua filtrada que la soporta se limitan a una pequeña sobrecarga sobre la cubierta del tanque y sobre el subsuelo.

5.8. ALMACENAMIENTO DEL AGUA FILTRADA

El diseño estructural del tanque de agua filtrada difiere del de los filtros lentos en dos aspectos. En primer lugar, el tanque de agua filtrada tiene que ser cubierto, lo cual permite que las presiones laterales sean transmitidas a la cubierta. Cuando se le da rigidez a la junta entre la cubierta y la pared por medio de barras de refuerzo prolongadas, la resistencia de la estructura aumenta y puede reducirse el espesor de las paredes.

La segunda diferencia entre el diseño de filtros lentos y el de un reservorio de agua filtrada consiste en que la carga que actúa hacia abajo sobre el fondo del reservorio de agua filtrada, a diferencia de la de un filtro de arena, puede ser nula en algunos períodos. Esto significa que la estructura tendrá que ser dimensionada para soportar presiones exteriores considerables, y también se deberá tener en cuenta la posibilidad de que la estructura esté sometida a empujes ascendentes ocasionados por presión de agua.

Tomando en consideración ambos aspectos, es posible decir que las dimensiones de las paredes de los filtros y de los reservorios pueden, en general, ser de la misma magnitud. En caso de existir la posibilidad de que la construcción tenga que soportar empujes ascendentes, entonces las paredes del reservorio deberán ser más robustas que las del filtro, especialmente si se trata de reservorios de gran capacidad. Para instalaciones menores,

la cubierta del tanque de agua filtrada puede consistir en una simple estructura de madera, pero para tanques más grandes es aconsejable, por lo general, una cubierta de hormigón de 0.25 m de espesor con una armadura mínima de 8 Ø - 150 (en ambas direcciones y tanto en la parte superior como en la parte inferior de la losa).

La cimentación de los tanques de agua filtrada tendrá necesariamente que ser profunda, ya que la pérdida de carga a través del filtro suma un metro (capítulo 5.6.) y tiene que permitirse cierta variación del nivel en el tanque de agua filtrada con el fin de balancear la producción y la demanda. Si se asume que la variación neta del nivel es 1.5 m, la profundidad de la cimentación del tanque de agua filtrada será la misma que la del filtro lento de arena.

El tanque de agua filtrada deberá estar provisto de tubos de ventilación y de un registro de inspección.

Si el tanque de agua filtrada sirve también como cámara de contacto de cloro, entonces el tubo de salida del agua filtrada debe estar situado a una altura tal sobre el nivel del fondo que se obtenga un período de retención de 30 minutos.

El volumen neto del tanque de agua filtrada depende de varias consideraciones. Como se ha señalado en el capítulo 4.3., el almacenamiento de agua filtrada es necesario con el fin de balancear la producción y la demanda. Por otro lado, no es forzoso construir el tanque de almacenamiento de agua filtrada dentro de los predios de la planta de tratamiento; su construcción en algún lugar del poblado tiene la ventaja de que la capacidad de transporte de la tubería de conducción es mejor aprovechada.

También es posible construir más de un tanque de agua filtrada, a condición de que el volumen neto total sea por lo menos igual al volumen de almacenamiento requerido por el cálculo. El uso de dos o tres tanques puede ser ventajoso respecto de la

confiabilidad del sistema de abastecimiento de agua (si un tanque está fuera de servicio entonces el(los) otro(s) tanque(s) aún puede(n) abastecer de agua a la población); puede también ser ventajoso con respecto al costo del almacenamiento dado que la construcción de grandes tanques de agua filtrada es relativamente difícil y costosa.

5.9. DISPOSICIONES PARA TUBERIAS Y BOMBEO

Ha sido siempre buena práctica en la ingeniería de abastecimiento de agua, diseñar los principales elementos hidráulicos de una planta de tratamiento para una capacidad de, por lo menos, 1.5 veces el caudal de diseño. Cuando más adelante se haga necesario ampliar las instalaciones de tratamiento, resultaría una molestia comprobar que no es posible efectuar las conexiones respectivas sin reemplazar tuberías, válvulas y otros accesorios. Es aconsejable utilizar velocidades de diseño bajas, del orden de 0.3 m/s en las tuberías principales.

Las válvulas de compuerta y las válvulas reguladoras del filtro deben estar dispuestas de manera tal que se puedan conectar fácilmente las ampliaciones futuras.

Las válvulas, flotadores de regulación y demás partes mecánicas delicadas deben, de preferencia, estar fácilmente accesibles para su control y reparación. En todo caso debe considerarse seriamente el empleo de una galería de tuberías o de una estructura de control de los filtros. Debe separarse estrictamente los conductos de entrada al filtro y los conductos de drenaje de las tuberías de agua filtrada.

Asumiendo que el sistema de tratamiento se basa en flujo por gravedad, debe determinarse las pérdidas de carga en las tuberías y las unidades de tratamiento (véase también el capítulo 5.6.) para efectuar el diseño de las bombas de agua cruda.

Para determinar las pérdidas en tuberías véase la figura 5.18.

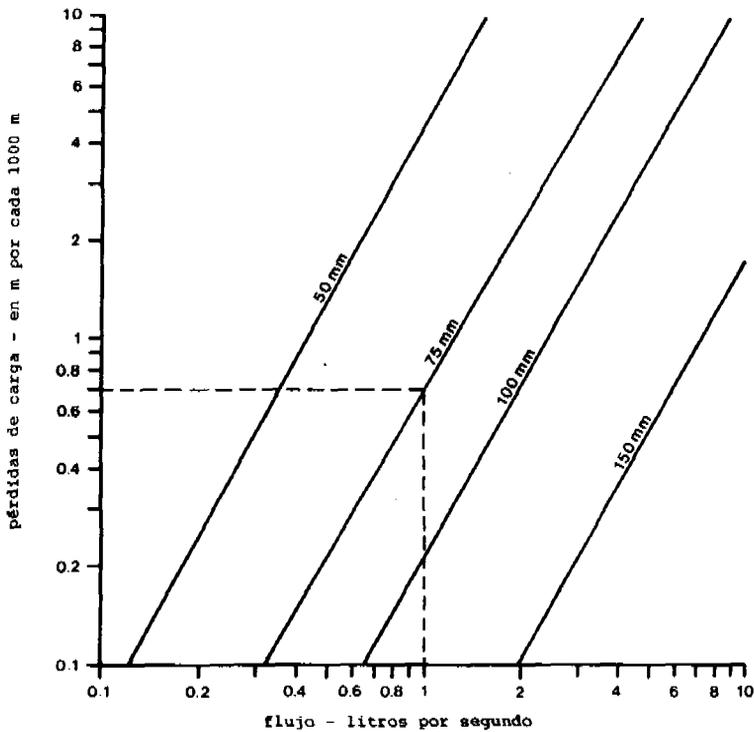


Figura 5.18. Pérdidas de carga por fricción en tuberías de PVC

Por ejemplo, puede verse que un caudal de un litro por segundo (3.6 m^3 por hora) dará origen a una pérdida de carga de 0.7 m de columna de agua por cada 1000 m de tubería de 75 mm de diámetro. La suma de las pérdidas de carga en los filtros lentos equivale a una columna de agua de 1 m y la pérdida de carga en los tanques de presedimentación será equivalente a una columna de agua de 0.05-0.10m. En base a estos datos puede especificarse el caudal de diseño y la carga de diseño para las bombas de agua cruda. Otras especificaciones importantes de las bombas de agua cruda, tales como la carga de succión y la carga de impulsión, dependen enteramente de las circunstancias locales.

En las plantas de tratamiento de agua, se emplea por lo general bombas centrífugas. La potencia requerida por el motor de la bomba, en kW, puede estimarse mediante la figura que se muestra a continuación.

La fuente de energía para el motor, ya sea petróleo Diesel, electricidad, o también energía hídrica o eólica, dependerá de lo que se halle disponible en el lugar.

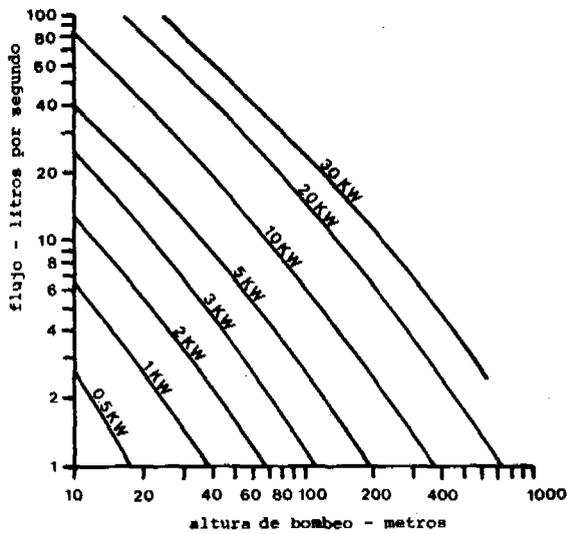


Figura 5.19. Requerimientos energéticos para bombas de agua cruda (kW)



Sistema de drenajes y soporte de capas de grava,
Planta de Agua de Amsterdam, Países Bajos.

6. DISEÑOS TÍPICOS DE FILTROS LENTOS DE ARENA

Para ilustrar el enfoque esbozado en los capítulos anteriores sobre el diseño de plantas de filtración lenta en arena, se ha preparado cuatro diseños típicos (véase figuras 6.1.-6.4). Debe tenerse en cuenta siempre que estos diseños se aplican a condiciones específicas y que pueden no ser adecuados bajo otras circunstancias. Los autores, por lo tanto, hacen referencia nuevamente a las afirmaciones hechas en el capítulo 1 relacionadas con el uso de la información que se da en este manual. En los párrafos 6.1.-6.4. se describen los cuatro diseños típicos, y en los párrafos siguientes se da alguna información referente a esquemas adecuados en plantas de tratamiento que comprenden estos cuatro diseños típicos, y se da información sobre la capacidad de los diseños típicos, la cantidad requerida de materiales de construcción y los costos de la filtración lenta.

Debe señalarse aquí que en los diseños típicos no se ha tomado en cuenta medidas para el pretratamiento del agua cruda. Los diseños, por lo tanto, pueden ser aplicados solamente a aguas superficiales relativamente limpias (de preferencia con una turbiedad menor de 10 NTU, pero definitivamente menor de 50 NTU). Si la turbiedad del agua cruda tiene valores mayores se deberá diseñar un sistema de pretratamiento (véase párrafo 3.9 y apéndice 2).

6.1. FILTROS CON TALUDES PROTEGIDOS

En el capítulo 5 se ha señalado que los filtros con taludes se aplican particularmente a pequeñas comunidades rurales de bajos ingresos. Por muy cierto que esto sea, no debe conducir al concepto equivocado de que su efecto de purificación es necesariamente inferior al de las otras concepciones del principio del filtro lento con arena.

Si ha sido bien diseñado y construido en forma cuidadosa, un filtro de taludes probará ser un gran adelanto en las condiciones higiénicas y sanitarias del poblado.

El diseño I (figura 6.1.) muestra un filtro de taludes protegidos.

La producción horaria puede ser calculada a partir del área neta del lecho filtrante (es decir el área que queda después que se ha raspado los 0.4 metros superiores; en el caso del diseño 8.4 x 8.4.) y la tasa de filtración (0.1 m/h). Para los dos filtros en conjunto, ésta asciende a $2 \times 8.4 \times 8.4 \times 0.1 \text{ m}^3/\text{h} = 14.1 \text{ m}^3/\text{h}$.

Si se opta por un período de operación de ocho horas con tasa de filtración declinante durante la noche (16 horas), entonces la producción diaria alcanzará a $8 \times 14.1 + 141 \times 0.7 = 211.7 \text{ m}^3/\text{d}$ (véase capítulo 4). Con una demanda diaria de 40 l.p.d. esta unidad puede atender a unas 5300 personas.

Las paredes de los filtros han sido protegidos con un revestimiento de 0.08 m de hormigón simple. Si se presta adecuada atención a la buena ejecución de la obra de hormigón (véase instrucciones en el capítulo 7.4. y apéndice 5), la hermeticidad de las paredes y del fondo será aceptable. No obstante, la estructura no es totalmente hermética por lo que el diseño puede ser aplicado solamente en localidades donde el más alto nivel freático esté preferentemente por debajo del fondo del filtro y en todo caso por debajo de la cima del lecho de arena. En lugar de hormigón simple pueden usarse otros revestimientos (véase figura 5.8.).

Para el diseño de conductos de agua y de facilidades de control del filtro, se ha hecho lo posible porque éstos sean sencillos. El agua cruda fluye hacia el filtro por un canal abierto de hormigón simple. Puede cerrarse el flujo hacia los filtros por medio de paneles de vertederos removibles, mientras que el nivel del agua en el filtro se controla por medio de un tubo de rebose.

El efluente de los filtros fluye a través de tubos de PVC hasta el tanque de agua filtrada, que tiene una capacidad de alrededor de $1/4 \times \pi \times 6^2 \times 1.5 \text{ m}^3 = 43 \text{ m}^3$ (20% de la producción diaria). Esta capacidad de almacenamiento es algo pequeña debido a que el proyectista ha programado otro tanque de almacenamiento en el área de abastecimiento.

El tanque de agua filtrada es de mampostería con una losa de cimentación de hormigón simple.

Para evitar la contaminación del agua filtrada se ha colocado una cubierta o tapa de madera dura sobre el tanque de agua filtrada. El control del filtro se hace por regulación manual de la válvula de mariposa en las tuberías de salida, después de la inspección de los flotadores calibrados del tanque de agua filtrada. Como alternativa a la cámara de vertedero descrita en el párrafo 3.2., este diseño típico incluye una cámara de vertedero que forma parte del tanque de agua filtrada. La segunda sección de la cámara de vertedero normal se reduce a una simple canaleta ubicada en la parte alta del vertedero. Durante el período de maduración de un filtro el agua filtrada que fluye hacia la canaleta es drenada directamente, mientras que durante la operación normal la válvula de drenaje de esta canaleta permanece cerrada y el agua fluirá sobre la cresta de la canaleta hacia dentro del tanque de agua filtrada.

Se ha previsto drenajes para el agua sobrenadante, para las tuberías del filtro al desagüe, y para una derivación del tanque de agua filtrada (con el objeto de mantener la posibilidad de inspección y reparación del tanque de agua filtrada).

Como ejemplo de la operación de las diferentes válvulas, en el párrafo 6.3. se da un esquema para la posición de las válvulas durante la operación normal y el llenado ascendente. Este esquema se aplica al diseño No. III.

6.2. FILTRO CIRCULAR DE FERROCEMENTO

Los filtros circulares de ferrocemento son muy adecuados para pequeñas poblaciones rurales. Pueden construirse tanto por encima como por debajo del nivel del suelo, dependiendo del nivel de agua subterránea. El máximo diámetro para filtros de ferrocemento se limita a unos 5 metros por razones de deformación y de carga no uniforme.

En el diseño No. II, han sido aplicados filtros circulares de ferrocemento que están colocados sobre el nivel del suelo, por lo que están sometidos a esfuerzos de tensión. La capacidad conjunta de producción horaria de dos filtros puede calcularse por $1/4 \times \pi \times 4.5^2 \times 0.1 \times 2 \text{ m}^3/\text{h} = 3.2 \text{ m}^3/\text{h}$.

Con un turno de 8 horas con filtración de tasa declinante por la noche (16 horas), la producción diaria total asciende a $48 \text{ m}^3/\text{d}$.

Si la demanda de agua diaria se fija en 40 l.p.d., esta producción servirá a una población de 1,200 personas.

El tanque de agua filtrada tiene una capacidad de almacenamiento de más o menos $1/4 \times \pi \times 4^2 \times 1.5 \text{ m}^3 = 19 \text{ m}^3$ (39% de la producción diaria).

El agua cruda fluye a través de tuberías de PVC en las que se provee una válvula de compuerta para permitir la suspensión del trabajo de los filtros. Las líneas de efluente y los dispositivos de control del filtro se diseñan de acuerdo a la descripción dada en el párrafo 3.2.

Para detalles sobre la técnica de construcción de ferrocemento remítase el lector al apéndice 5.

6.3. FILTRO CIRCULAR DE MAMPOSTERIA

El uso de mampostería para la construcción de filtros lentos es particularmente adecuado cuando se planea emplear filtros circulares emplazados por debajo del nivel natural del suelo. Como materiales de construcción puede emplearse piedra natural, piedra de cantera, ladrillos y bloques de hormigón. Estos filtros están sometidos a solamente fuerzas de compresión. El nivel del agua subterránea debe ser preferentemente bajo.

El diseño No. III ha sido preparado para la misma población rural que la de los filtros de ferrocemento, de manera que el área neta de lecho filtrante y la capacidad de almacenamiento son los mismos que se mencionaron antes.

La tubería y los dispositivos de control del filtro son similares a aquellos del diseño No. I.

Cuando se limpia un filtro, debe duplicarse la tasa de filtración del otro filtro abriendo lentamente la válvula reguladora del filtro (válvula No. 1 ó 2 en la figura 6.3.) hasta que el dispositivo medidor del flujo indica flujo doble ($3.2 \text{ m}^3/\text{h}$).

Después de la operación de limpieza, el filtro recién limpiado debe llenarse ascendentemente con agua filtrada proveniente del otro filtro.

Por ejemplo, si el filtro 1 requiere ser llenado, se permite que parte del agua filtrada del filtro 2 fluya a través de las válvulas No. 3 y 4 (que están normalmente cerradas) y la válvula No. 1 (que debiera estar completamente abierta para ese propósito). Si el nivel del agua en el filtro 1 ha alcanzado entre 0.1 y 0.2 m por sobre el lecho filtrante, se cierran las válvulas No. 3 y 4, y la entrada de agua cruda al filtro 1 es reabierta.

Cuando el agua sobrenadante ha alcanzado su nivel normal, puede comenzar el período de remaduración (véase párrafo 3.7.). Durante este período puede drenarse el agua efluente del filtro 1 abriendo la válvula No. 7.

Para una mayor ilustración sobre la operación de las válvulas, el cuadro 6.1. presenta un programa de la posición de las diferentes válvulas durante la operación normal y el llenado ascendente (véase también la figura 6.3.)

Cuadro 6.1. Posición de las válvulas para el diseño No. III.

Válvula No.	Operación normal filtros 1 y 2	Llenado ascendente de filtro 1 y 2	Raspado filtro 1
1	abierta	abierta	cerrada
2	abierta	abierta	abierta
3	cerrada	abierta	cerrada
4	cerrada	abierta	cerrada
5	cerrada	cerrada	cerrada
6	cerrada	cerrada	cerrada
7	cerrada	cerrada	cerrada
8	cerrada	cerrada	cerrada
9	cerrada	cerrada	cerrada
10	abierta	abierta	abierta

6.4. FILTRO RECTANGULAR DE HORMIGÓN

Los filtros de hormigón serán usados, de manera general, en ciudades y poblados algo mayores, donde los recursos financieros no son tan limitados. Además, debe contarse con la capacidad necesaria para construir hormigón.

El diseño No. IV tiene una capacidad proyectada de $4 \times 100 \times 0.1 \text{ m}^3/\text{h} = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ y una capacidad de producción de $960 \text{ m}^3/\text{d}$ (a operación continua).

Podría servir a una pequeña ciudad de unos 12,000 habitantes con una demanda diaria de agua de 80 l.p.d. En caso de

abastecimiento a un grupo de aldeas con una demanda diaria de agua de 40 l.p.d., puede servirse a unas 24,000 personas. Las estructuras de entrada y salida del filtro se diseñan de manera más avanzada y la accesibilidad a las tuberías y a las facilidades de control es óptima si se provee una galería para tal efecto a lo largo de las unidades de filtro. Se han incluido disposiciones para cloración de seguridad o desinfección por medio de cloruro de cal o hipoclorito de alta concentración. Se ubica una caseta para el operador sobre el tanque de agua filtrada. La galería de tuberías está cubierta con una tapa de hormigón con asas empotradas para el control de las válvulas del filtro.

6.5. ESQUEMA DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE LOS CUATRO DISEÑOS TÍPICOS

Además de los diseños de filtros lentos tratados en los párrafos 6.1. a 6.4., en este párrafo se dan posibles esquemas de plantas de tratamiento que utilizan estos filtros. Con el objeto de dar una descripción general de las plantas de tratamiento de agua que incluyen filtros lentos, en estos esquemas se asigna una cierta área para posibles unidades de pretratamiento. Por otra parte, se presta atención a futuras ampliaciones de la unidad de tratamiento y a servicios básicos tales como un taller para el operario, almacén, servicios sanitarios y caminos locales.

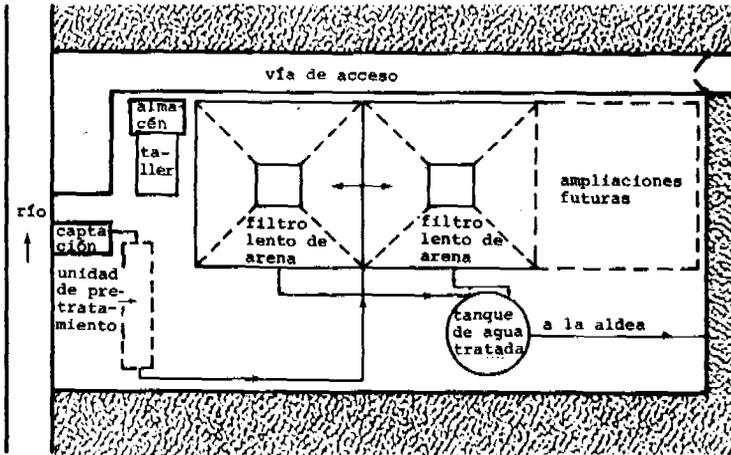


Figura 6.5. Esquema de planta de tratamiento que comprende el diseño típico No. I.

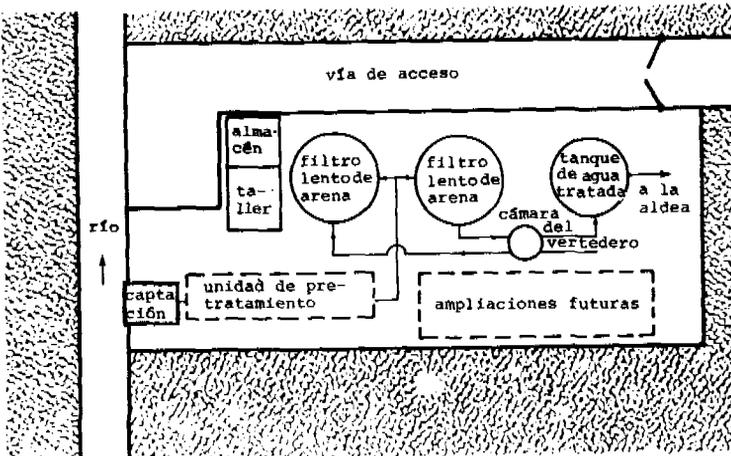


Figura 6.6. Esquema de planta de tratamiento que comprende el diseño típico No. II.

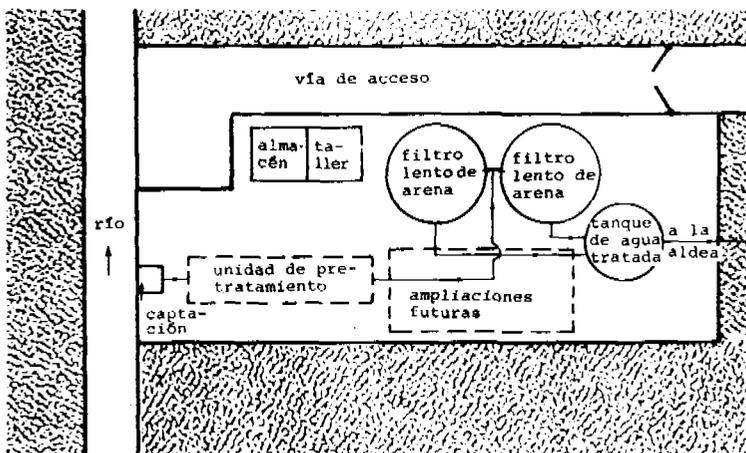


Figura 6.7. Esquema de planta de tratamiento que comprende el diseño típico No. III

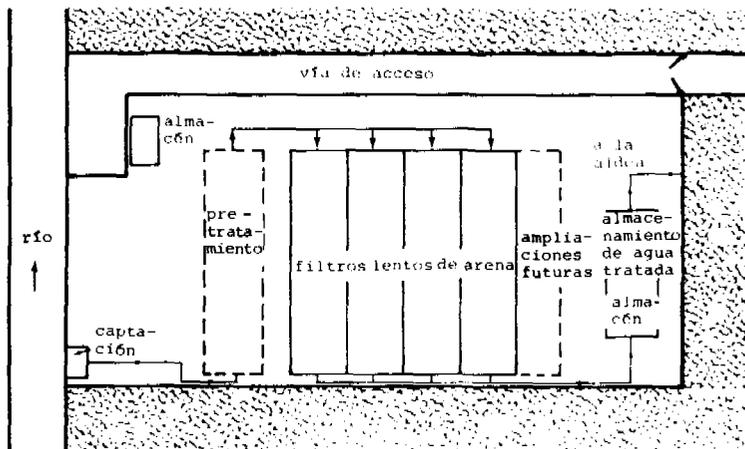


Figura 6.8. Esquema de planta de tratamiento que comprende el diseño típico No. IV.

6.6. CAPACIDAD DE PRODUCCION DE LOS CUATRO DISEÑOS TIPICOS

La capacidad de producción horaria de los cuatro diseños típicos de determina por medio del área total del lecho filtrante y la velocidad de filtración, que se fija en $0.1 \text{ m}^3/\text{m}^2, \text{ h}$.

La capacidad de producción diaria depende del modo de operación: número de turnos, operación continua, tasa de filtración declinante u operación intermitente.

El cuadro 6.2. resume la capacidad de producción diaria de los cuatro diseños típicos para diferentes modos de operación.

Cuadro 6.2. Capacidades de producción diaria de los cuatro diseños típicos (I - IV) para diferentes modos de operación.

Programa de operación diaria			Capacidad de producción diaria m^3/d			
FN(h)	FTD(h)	FC(h)	I	II	III	IV
8	-	16	112.9	25.5	25.5	320
8	16	-	211.7	47.8	47.8	600
16	-	8	254	50.9	50.9	640
16	8	-	324.6	66.8	66.8	840
24	-	-	338.7	76.3	76.3	960

donde: FN = filtración normal

FTD = filtración con tasa declinante

FC = filtro cerrado

El número de personas que pueden ser servidas por los cuatro diseños típicos depende de nuevo del modo de operación, del consumo diario de agua por persona, de las pérdidas, del desperdicio, etc. Si la demanda de agua por persona (incluyendo pérdidas y desperdicios) se fija en 40 l.p.d., el número de personas que pueden ser servidas está dado en el cuadro 6.2.

Cuadro 6.3. Número de personas que pueden ser servidas por los cuatro diseños típicos a una demanda de agua de 40 l.p.d. (para diferentes modos de operación)

Programa de operación diaria			Número de personas a servir			
FN(h)	FTD(h)	FC(h)	I	II	III	IV
8	-	16	2822	636	636	8000
8	16	-	5292	1195	1195	15000
16	-	8	6350	1272	1272	16000
16	8	-	8115	1670	1670	21000
24	-	-	8467	1908	1908	24000

donde: FN = filtración normal

FTD = filtración con tasa declinante

FC = filtro cerrado

6.7. CANTIDAD DE MATERIALES DE CONSTRUCCION REQUERIDOS PARA LOS CUATRO DISEÑOS TIPICOS

Sobre la base de los diseños típicos antes mencionados, se ha hecho una representación gráfica que relaciona los materiales de construcción requeridos para construir una planta de filtración lenta en arena y la capacidad de dicha planta (en m^3/h , así como m^3/d para un modo de operación). La figura 6.9. que muestra esta relación, puede ser usada para hacer un estimado preliminar de los materiales de construcción requeridos para construir una planta de filtros lentos. La gráfica no incluye materiales de construcción para pretratamiento y postratamiento.

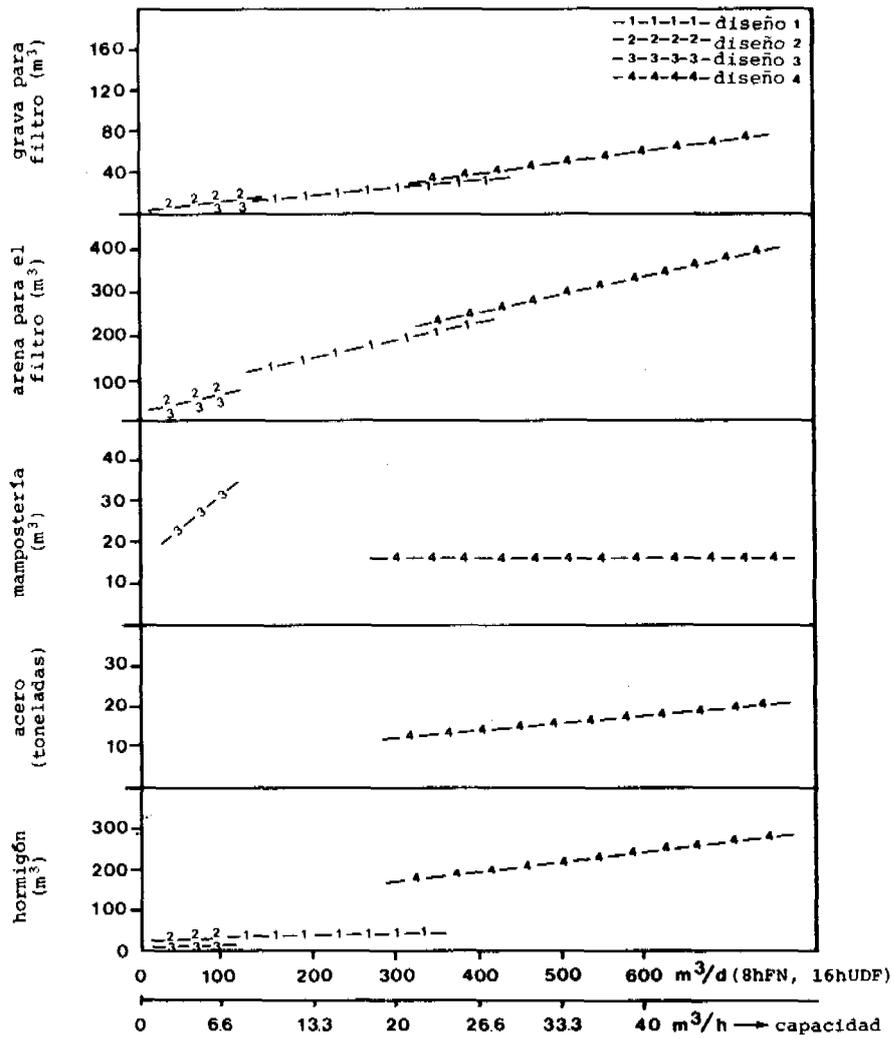


Figura 6.9. Cantidad de materiales de construcción requeridos por los cuatro diseños típicos

6.8. COSTOS DE FILTROS LENTOS DE ARENA

Los costos de inversión de los filtros lentos están determinados, principalmente, por los costos de materiales tales como cemento, grava, acero de refuerzo, arena de filtro, tuberías, válvulas y demás. Las listas de materiales de los diseños típicos deben presupuestarse utilizando los precios locales de los materiales. Los precios de estos materiales variarán dentro de una amplia gama dependiendo de diversas circunstancias regionales y locales. Por lo tanto, los esfuerzos que se hagan en principio para calcular precios unitarios bastante exactos (p. ej. costos por m^3/h de producción) pueden fallar. No obstante es útil hacer un estimado inicial de los costos de los filtros lentos de arena para propósitos de planificación. El cuadro 6.4 da un estimado de costos de materiales por unidad de producción para los cuatro diseños típicos. Debe tenerse presente que este cuadro que está basado en información recogida del proyecto de filtración lenta, no incluye costos de construcción tales como costo de mano de obra y honorarios de los contratistas. Además se señala que - dentro de la gama de filtros comprendidos en este manual - se incluyen en el cuadro economías de escala. Sin embargo puede ocurrir, en situaciones extremas, desviaciones de las cifras dadas, p. ej. costo elevado del transporte de materiales.

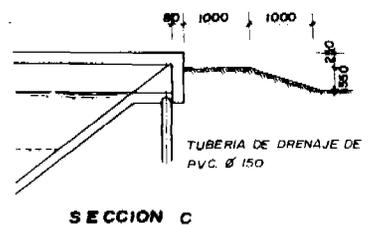
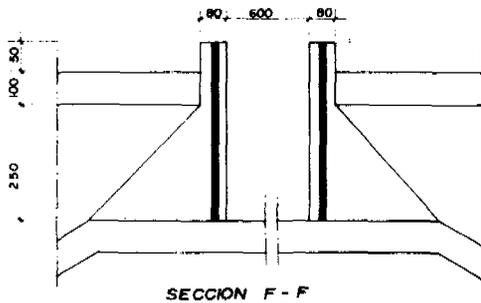
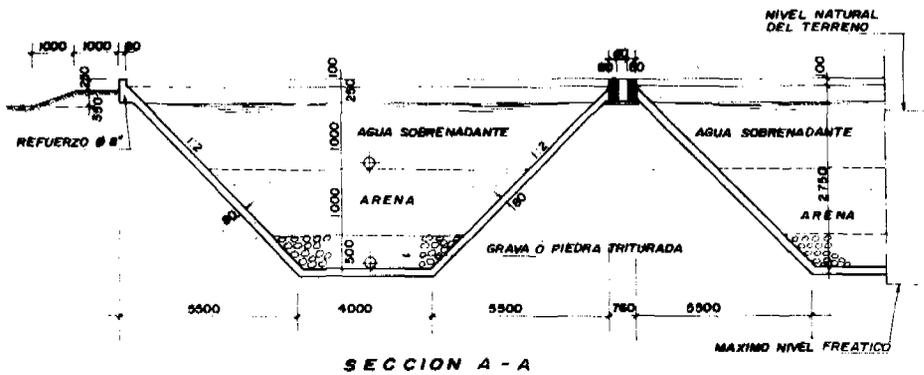
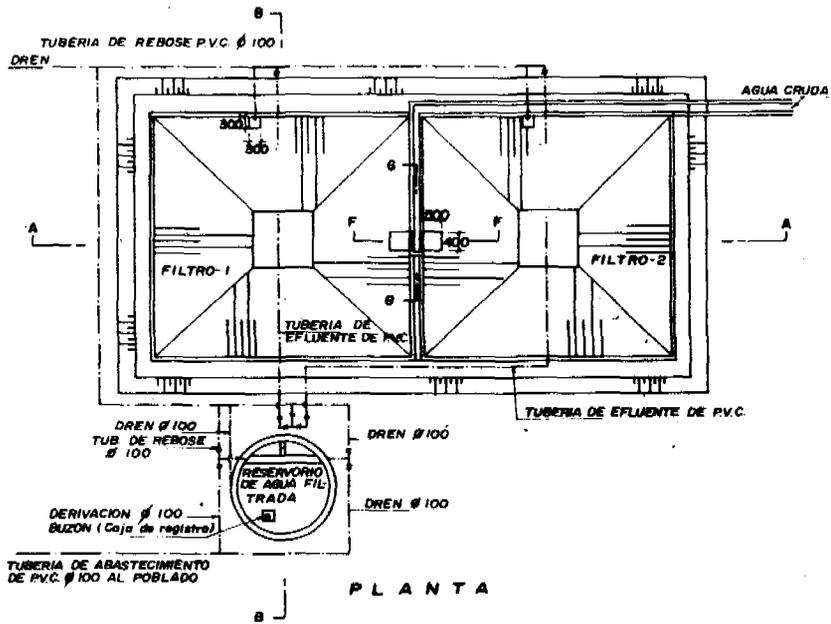
Cuadro 6.4. Variación estimada de costos de materiales (en US\$) para filtros lentos de arena por unidad de producción (m^3/h), basada en los cuatro diseños típicos.

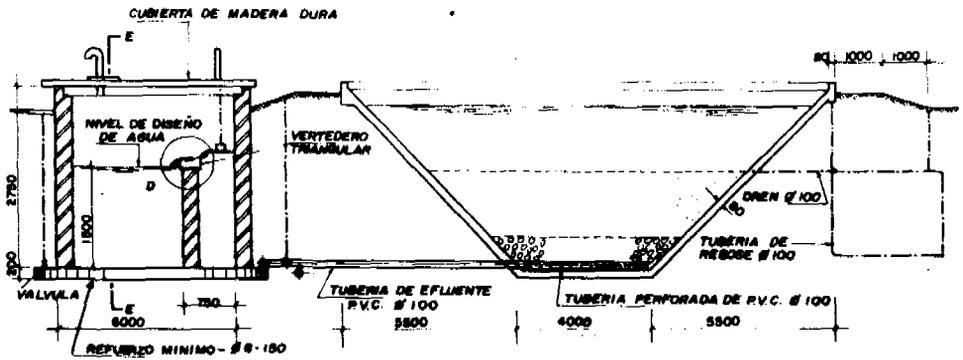
filtro con taludes protegidos	1000 - 4000 US\$ por m^3/h
filtro de ferrocemento	1500 - 6000 US\$ por m^3/h
filtro de mampostería	1500 - 6000 US\$ por m^3/h
filtro de hormigón	3000 - 12000 US\$ por m^3/h

Si se fija la disponibilidad total de agua en 2 l.p.h. (o 48 l.p.d.) las cifras dadas en el cuadro 6.3. pueden ser convertidas a costos por persona. Véase cuadro 6.5.

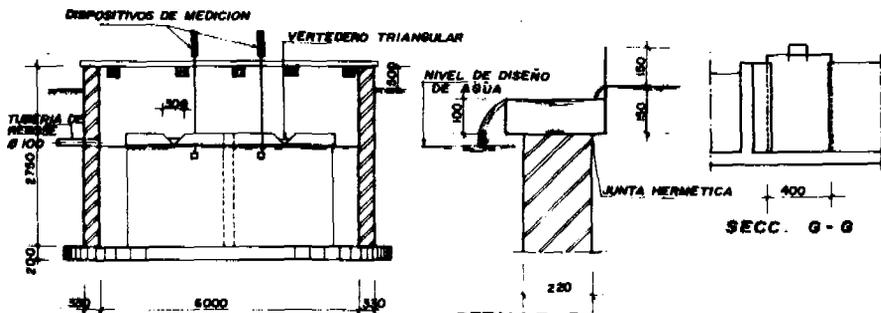
Cuadro 6.5. Variación estimada de costos de materiales (en US\$) para filtros lentos de arena por persona servida (basada en los cuatro diseños típicos).

filtro con taludes protegidos	2 - 8 US\$/persona
filtro de ferrocemento	3 - 12 US\$/persona
filtro de mampostería	3 - 12 US\$/persona
filtro de hormigón	6 - 24 US\$/persona





SECCION B-B



SECCION E-E

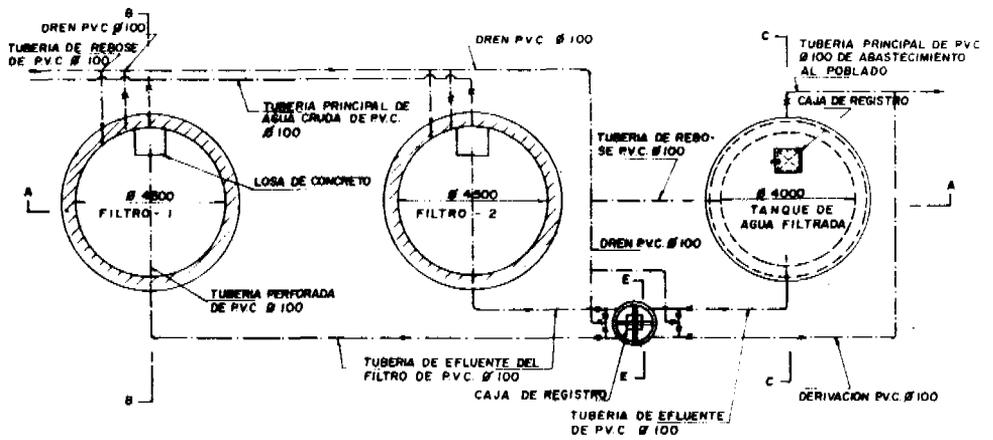
DETALLE D
(Vertedero y Concreto)

LISTA DE MATERIALES

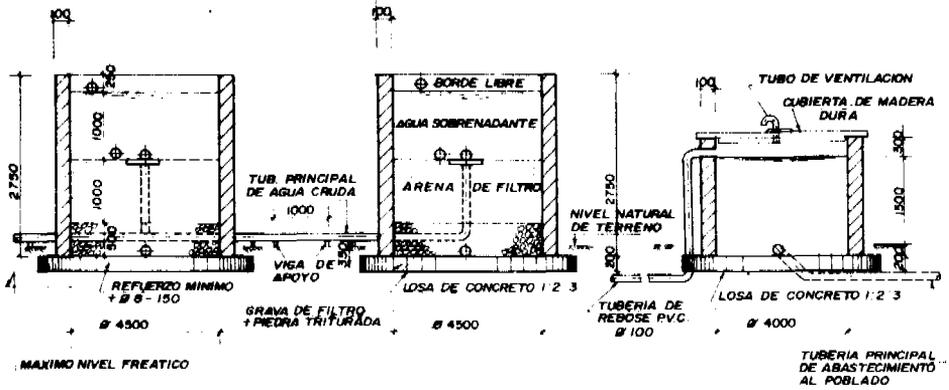
MATERIAL	CANTIDADES
HORMIGON 1:2:3	75 m ³
ACERO DE REFUERZO	1000 Kg
MAPOSTERIA	10 m ³
ARENAMIA FILTRO 0.15 - 0.35 mm, 1000mm	200 m ³
ARENA GRUESA 100 - 1.40 mm, 100 mm	
GRAVA 4.00 - 5.60 mm, 100 mm	50 m ³
GRAVA 15 - 45 mm, 150 mm	
PIEDRA TRITURADA 50 - 100 mm, 150 mm	
VALVULAS DE COMPUERTA	10
VALVULAS DE MARIPOSA	2
TUBERIAS DE P.V.C. O 100	250 m
CODOS DE 90°	15
UNIONES T	15

— VALVULA DE COMPUERTA
 - - - VALVULA DE MARIPOSA

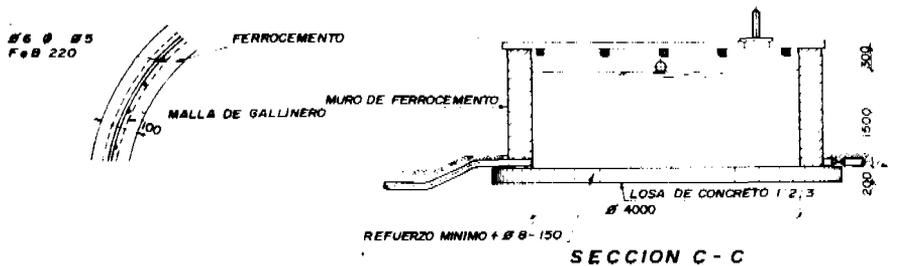
FILTRACION LENTA ARENA	
DISEÑO TIPOICO No. 1	Medidas en mm
FILTROS DE TALUDES PROTEJIDOS	Fecha 7/05/30
CAPACIDAD 14.1 m ³ /h (113 - 338 m ³ /día)	T.W.O. FIG. 61



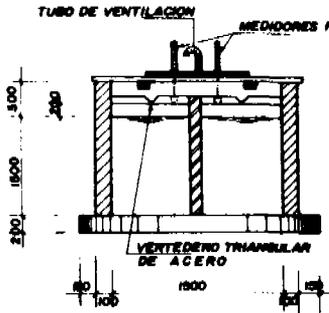
PLANTA



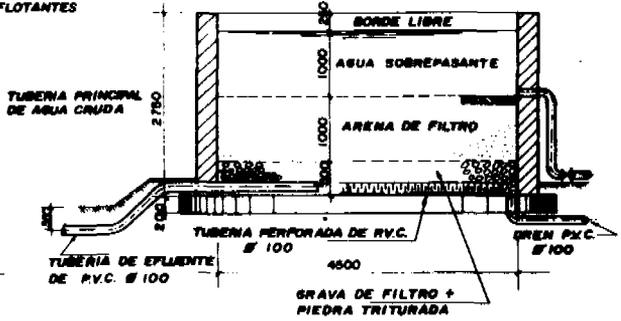
SECCION A - A



SECCION C - C



SECCION E-E

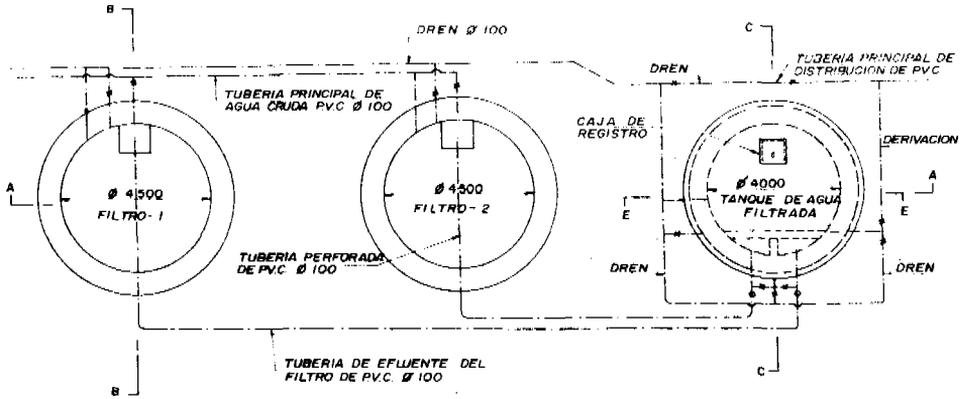


SECCION B-B

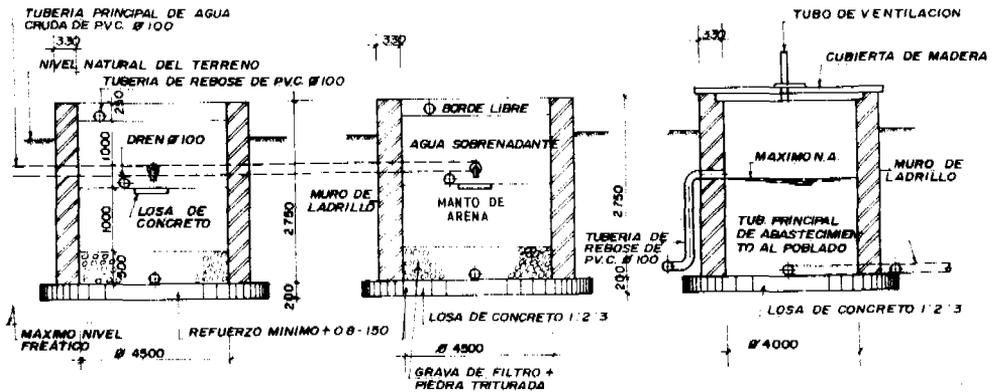
LISTA DE MATERIALES	
MATERIAL	CANTIDADES
HORMIGON 1:2:3	10 m ³
ACERO DE REFUERZO	2500 Kg.
FERROCEMENTO	12 m ³
ARENA PARA FILTRO 0.15 - 0.35 mm; 1000mm	32 m ³
ARENA GRUESA 1.00 - 1.40 mm; 100 mm	500mm 16 m ³
GRAVA 4.00 - 5.80 mm; 100 mm	
GRAVA 16 - 23mm; 100 mm	
PIEDRA TRITURADA 80 - 100mm; 100 mm	
VALVULAS DE COMPUERTA	13
VALVULAS DE MARIPOSA	2
TUBERIAS DE P.V.C. Ø 100	150 ml.
CODOS DE 90°	32
UNIONES T	14
MALLA DE GALLINERO	300m ²

FILTRACION LENTA ARENA	
DISEÑO TÍPICO No. 11	Medidas en mm. Fecha 7/05/30
FILTROS DE FERROCEMENTO	
CAPACIDAD 3.2 m ³ /h (25.6 - 76.8 m ³ /die)	T.W.O. FIG 6.2

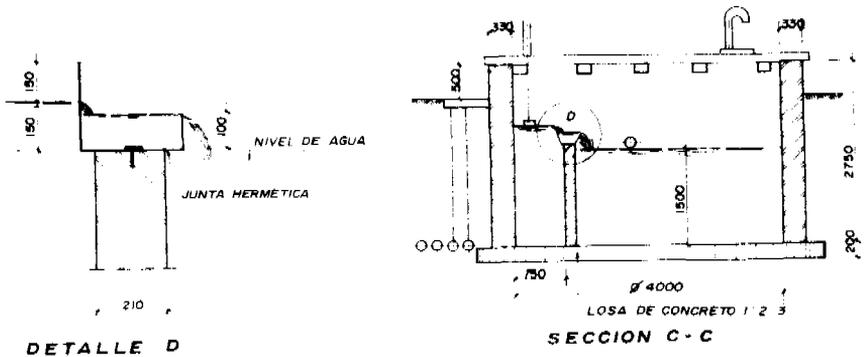




PLANTA

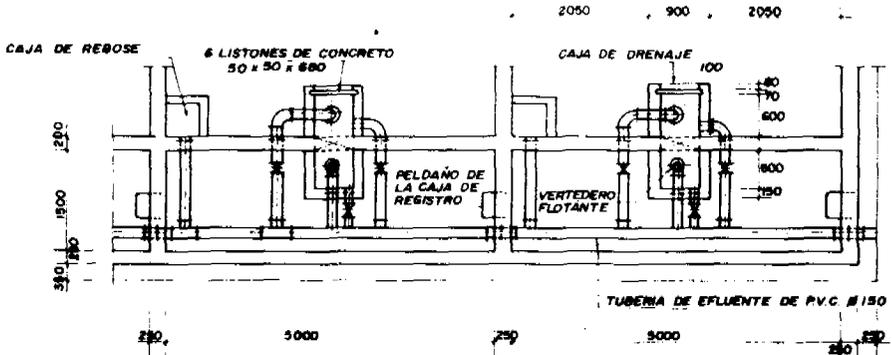


SECCION A-A

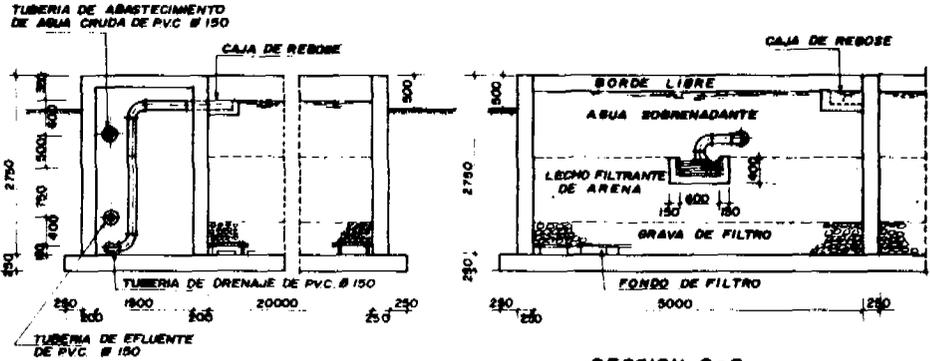


DETALLE D

SECCION C-C



SECCION HORIZONTAL DE GALERIAS DE TUBOS



SECCION B-B

SECCION C-C

LISTA DE MATERIALES	
MATERIAL	CANTIDADES
HORMIGON 1:2:3	260 m ³
ACERO DE REFUERZO	16000 Kg
MAMPOSTERIA	18 m ³
ARENA PARA FILTRO 0.15 - 0.35mm, 1000mm	400m ³
ARENA GRUESA 1.00 - 1.40mm, 100 mm	500mm
GRAVA 4.00 - 5.60 mm, 100 mm	
GRAVA 15 - 25 mm, 150 mm.	
GRAVA 50 - 100 mm, 150 mm	
VALVULAS DE COMPUERTA	15
TUBERIAS DE PVC #150 mm	150 m
CODOS DE 90°	40
UNIONES T	24

FILTRACION LENTA ARENA	
DISEÑO TIPICO No. IV	Medidas en mm
FILTROS DE CONCRETO ARMADO	Fecha 780530
CAPACIDAD 40 m ³ (320-960 m ³ /día)	T.W.O. FIG. 6.4

7. EJECUCION DE PROYECTOS DE PLANTAS DE FILTRACION LENTA

7.1. INTRODUCCION

Por lo general la tarea del proyectista no termina cuando se ha completado el diseño detallado de una planta de tratamiento de agua.

Ahora llega el momento de la recolección de fondos, de las actividades administrativas (documentos para la licitación y cronogramas de trabajo) y de coordinación.

Por cierto que el ingeniero proyectista no será el único responsable del progreso del proyecto, pero en todo caso él debe estimular a los otros participantes en sus labores.

En general, pueden distinguirse dos formas de encarar la ejecución de un programa de abastecimiento de agua, a saber, su realización por contratistas pagados, o mediante la participación de la población beneficiaria. La tarea del proyectista, asimismo, diferirá en gran medida en estos dos casos. En el primer caso, el ingeniero del proyecto actuará en representación del cliente (probablemente una organización estatal o para estatal) y después de extendidos los documentos de la licitación, su contribución estará limitada a la supervisión. Sin embargo, en proyectos de autoayuda, el proyectista puede funcionar como ingeniero de campo coordinando el proyecto, el trabajo de la población participante y las actividades de los proveedores, funcionarios y demás personas involucradas. Tendrá que efectuar los pedidos de materiales con toda oportunidad, planear las actividades con anticipación y coordinar la supervisión diaria.

Con el objeto de compenetrarse con estos asuntos, a continuación se discuten algunos aspectos relacionados con la licitación, la organización y la supervisión. En los dos últimos párrafos de este capítulo se trata algunos aspectos importantes relacionados con el proceso de la construcción.

7.2. LICITACION DE PROPUESTAS

Si las obras (o parte de ellas) son llevadas a cabo por contratistas, deben prepararse los documentos apropiados para las propuestas.

Los documentos de la propuesta comprenden:

1. Forma de la propuesta
2. Forma del contrato
3. Condiciones generales del contrato
4. Condiciones específicas del contrato
5. Especificaciones técnicas para la ejecución de las obras
6. Listas de materiales

Además, puede incluirse, si se desea, una lista de requisitos a ser proporcionada por el contratista, e instrucciones a los postores, información general, lista de equipo, garantías de propuestas y de ejecución, etc.

La forma de la propuesta, la forma del contrato y las condiciones generales del contrato contienen regulaciones legales y administrativas, las que han sido estandarizadas internacionalmente en las "Condiciones de contrato (internacional) para obras de construcción en ingeniería civil" (15).

Se puede obtener copias de este detallado documento de las direcciones mencionadas en el apéndice 9.

Las condiciones específicas del contrato se refieren a las regulaciones administrativas y legales que son de aplicación particular en cada país, o en cada situación de trabajo específico, p. ej., condiciones de pago, trabajo nocturno, etc. Estas pueden redactarse en base a las condiciones generales antes mencionadas.

Las especificaciones técnicas, incluyendo planos y listas de materiales son la "entraña" de la propuesta. Deben incluir una descripción precisa y completa de los trabajos a realizar, la

forma en que deben ser realizados y los materiales a ser usados. Los materiales a ser usados deben especificarse haciendo referencia a parámetros de calidad normalizados, nacional o internacionalmente, (véase también apéndice 5) y la descripción de la forma en que se ejecutarán las obras debe contener normas de precisión, límites de permisibilidad como, p. ej. cimbras de los encofrados, etc.

Estas normas se encuentran descritas con frecuencia en manuales de instrucción de uso nacional o internacional (véase bibliografía).

Las instituciones nacionales de ingeniería pueden, asimismo, estar en posición de proporcionar instrucciones para usarlas en los documentos de la propuesta. Se debe recordar, siempre, que las funciones de los documentos de propuesta son:

1. Transferencia de conocimiento e intenciones
2. Guía para la ejecución de las obras
3. Documentos legales del contrato
4. Bases para el estimado del contratista
5. Guía de deberes y responsabilidades de las personas comprendidas en la ejecución
6. Medio de inspeccionar y comprobar la ejecución de las obras

La licitación de propuestas puede ser pública o por contrato privado, dependiendo de las circunstancias locales (conocimiento del contratista, efecto esperado sobre el precio y la calidad del trabajo).

Una vez firmados los documentos del contrato puede iniciarse la ejecución de las obras. La labor del ingeniero proyectista se limita entonces, por lo general, a:

1. coordinación de las obras, si hay más de un contratista en el sitio del trabajo
2. coordinación de las actividades entre el contratista y el cliente
3. supervisión y control de la realización del contrato
4. control y aprobación de gastos

7.3. PLANEAMIENTO Y ORGANIZACION

Especialmente en proyectos de autoayuda, es indispensable un cierto conocimiento de técnicas de organización y planeamiento por parte del proyectista que actúa como ingeniero de campo. En el terreno de la construcción, frecuentemente se producen desperdicios de materiales y de tiempo como resultado de una organización ineficaz de los trabajos. Los efectos de demoras en los pedidos de materiales y herramientas esenciales no necesitan mayor explicación.

Puede decirse que se alcanza una buena organización de la obra cuando la eficiencia de los trabajos que realizan los operarios llega al más alto nivel posible. Por cierto que la ineficiencia no puede ser eliminada por completo si, por ejemplo, los mismos operarios no poseen suficiente destreza para usar la técnica más eficiente en determinada tarea. En general, las siguientes medidas organizativas ayudan a mejorar la eficiencia:

1. haciendo un plan de trabajo; determinando medios, secuencia de los trabajos, tiempo requerido y lugar
2. distribuyendo las tareas; motivación de los operarios con la descripción clara de sus obligaciones
3. coordinando las labores; las comunicaciones deben estar referidas a las tareas, mejorando la cooperación
4. control; comparando los resultados con los planes
5. enmienda; modificando los planes para alcanzar las metas

De lo anterior se desprende que el planeamiento es una parte importante de la organización. La necesidad de planeamiento se puede ilustrar por las consecuencias que acarrea su ausencia; ocurrencia de cuellos de botella, falta de equipo o mano de obra y desperdicio.

Se han desarrollado muchas técnicas de planeamiento de obras, algunas tan complicadas que se requiere de programas de computación para usarlas. En el campo de aplicación de este manual sólo se discuten técnicas sencillas de planeamiento para relacionar la cantidad de trabajo, la secuencia de las tareas y el tiempo necesario.

Los cronogramas se ejecutan usualmente en forma de un cuadro de barras y dan una proyección sistemática del avance planeado del proyecto.

Comparando el progreso real con el progreso planeado, pueden registrarse diferencias y tomarse medidas correctivas. Para hacer un cronograma, el ingeniero de campo deberá registrar:

1. ¿Qué se debe hacer?
2. ¿En qué cantidades debe hacerse?
3. ¿Cuándo debe hacerse?
4. ¿Quién debe hacerlo?
5. ¿Qué medios son necesarios para hacerlo?

Naturalmente que no será necesario hacer planes con mucho adelanto; al comienzo puede ser suficiente planes preliminares, en tanto que en una etapa posterior pueden elaborarse planes más detallados.

Además del cronograma de la obra que se lleva en el lugar, se deben efectuar subcronogramas para las actividades preparatorias (p. ej. contrato de personal, pedidos de herramientas y materiales). Una característica importante de los cronogramas es la secuencia de las operaciones; por ejemplo, para una cimentación de hormigón esta secuencia es:

1. demarcar la zanja
2. excavar
3. encofrar
4. vaciar el falso cimiento
5. doblar y colocar el refuerzo
6. vaciar el cimiento

Estas operaciones pueden ser reproducidas por medio de un gráfico de barras, para el cual se dan períodos de tiempo divididos horizontalmente por las llamadas etapas del plan. Para cada etapa del plan puede darse el número de operaciones planeadas así como el número acumulado de operaciones. Esto permite una verificación sencilla del progreso de la obra.

La obra de cimentación de cuatro filtros de hormigón se puede visualizar como ejemplo, conforme se muestra en la figura 7.1.

mes	mes 1				mes 2				mes 3		
	semana 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
operaciones											
replanteo de zanjas	(2)	(2)									
excavación			(1)	(1)	(1)	(1)					
armado de encofrados							(4)				
fundición de base								(4)			
colocación de armadura										(4)	
fundición											(4)

reserva

Figura 7.1. Cronograma de la obra de cimentación de cuatro filtros de hormigón

7.4. ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION

En proyectos de autoayuda, el proyectista deberá, por lo general, actuar como líder del equipo de construcción. Esto significa que ahora el proyectista estará activamente ocupado en la construcción y supervisión, en grado mayor que cuando las obras son realizadas por contratistas. El proyectista debe, en consecuencia, tener experiencia en construcción. Sin embargo, existen ciertas ayudas y herramientas que puede usar provechosamente en el momento de organizar el trabajo y de dar instrucciones a los operarios. Las autoridades regionales y nacionales probablemente dispondrán de especificaciones de construcción normalizadas, pero también se puede utilizar libros de texto de construcción como el "Manual of Concrete Practice" (19) y el "A Manual on Building Construction" (20).

En países con gran potencial de mano de obra, el proyectista debe dar preferencia al uso intensivo de mano de obra y omitir el uso de equipo mecanizado. Un factor importante en el uso intensivo de mano de obra en la construcción, es la motivación e interés de los operarios por el proyecto. Si los propios operarios se benefician de las obras, entonces no habrá problemas, pero si éste no es el caso, podrá ser necesario promover el interés de los operarios pagándoles a destajo.

Para información del lector sobre las propiedades y el procesamiento de los materiales de construcción usados en la obra, se le refiere al apéndice 5.

El aspecto más importante en la ejecución del trabajo es prestar máxima atención a la hermeticidad de la caja del filtro y de las tuberías principales de agua filtrada. Esto significa que las juntas de vaciado deben quedar bien limpias, que el concreto debe estar bien compactado con el fin de evitar la ocurrencia de puntos de concentración de agregado grueso y

que se emplee la menor cantidad posible de agua para el proceso. Además, es necesario mantener húmedos los encofrados y la construcción por algunas semanas después del vaciado con el objeto de limitar las tensiones por temperatura y la evaporación del agua de la mezcla. También se puede usar cercos y coberturas para proteger el concreto fresco del sol y del viento.

El vaciado y la compactación deberán efectuarse lo más pronto que sea posible; nunca deben ocurrir retrasos ni demoras.

Otro asunto importante es que no debe colocarse la arena del filtro hasta que haya sido repuesto el suelo de la excavación; ésto para limitar los esfuerzos de tensión. Además, es importante prestar la mayor atención a que el subsuelo esté bien compactado (antes del inicio de la obra) con el objeto de limitar los asentamientos diferenciales y las tracciones en la losa de cimentaciones.

En lo que respecta a detalles más amplios sobre la ejecución del proceso de la construcción, el lector es referido a los libros de texto sobre edificación y construcción que se dan en la bibliografía.

A manera de ejemplo se discutirá a continuación aspectos del encofrado del hormigón de los elementos de la construcción de plantas de filtración lenta en arena.

Ejemplo - Encofrado de obras de hormigón

Puede usarse para los encofrados asbesto cemento y acero, pero el material más empleado es la madera. El tamaño mínimo de los tablonés de madera para encofrados es de 25 x 150 mm para cuarterones y puntales; los travesaños que se usan deben tener por lo menos 65 x 165 mm. La madera debe ponerse a secar por algún tiempo ya que la madera no curada se contrae.

Naturalmente que el encofrado debe ser capaz de transmitir las cargas sin sufrir desplazamientos horizontales ni verticales

ni tampoco cimbrarse. Los muros verticales deben tener soporte adecuado. Durante la construcción de los encofrados se debe dejar algunas aberturas que permitan remover las partículas extrañas, el alambre y el aserrín. Es importante constatar que el encofrado esté aplomado.

Se puede facilitar el desprendimiento de las formas recubriendo su interior con una mano de aceite para encofrados o de cualquier sustancia grasosa.

Encofrado del piso

El piso puede ser vaciado directamente sobre el terreno natural o sobre una subbase de trabajo de 50 mm de concreto 1: 3: 5 (véase apéndice 5). Los bordes del piso se alinean por medio de estacas y tablas (2.5 x 150 mm). Las estacas deben clavarse firmemente en el terreno con el fin de poder resistir las deformaciones. El piso del filtro generalmente se prolonga unos 0.10 a 0.20 m con el fin de dejar espacio suficiente para el encofrado del muro (véase figura 7.2.).

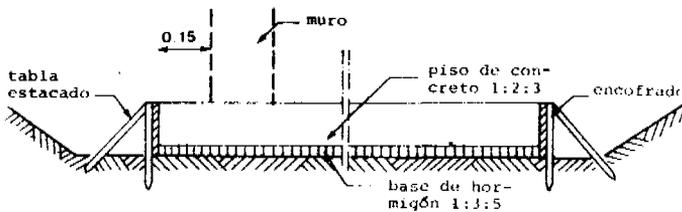


Figura 7.2. Encofrado de piso

Encofrado de los muros

Las tablas de encofrar los muros del filtro pueden clavarse sobre listones verticales colocados a intervalos de 0.75 m. Como la presión horizontal del mortero de hormigón es grande el encofrado debe apuntalarse. Los listones pueden unirse entre si mediante pasadores centrales (véase figura 7.3.) Retirar los pasadores centrales al poco tiempo de endurecer el hormigón tiene la desventaja de que se producen huecos y grietas grandes. Después de un endurecimiento suficiente los pasadores sólo dejan pequeñas perforaciones, las que pueden llenarse entonces con mortero.

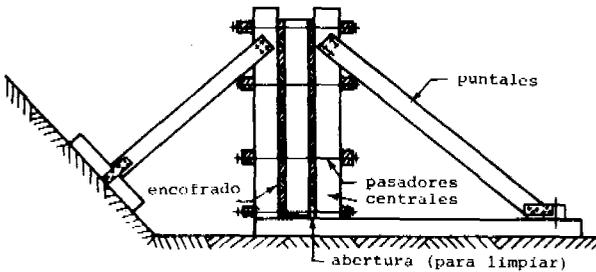


Figura 7.3. Encofrado de los muros

Encofrado de la cubierta

El encofrado puede consistir en tablonces (2.5 x 150 mm) soportados por vigas soleras (65 x 165 mm) tendidas de canto. Las soleras se apoyan sobre travesaños. La unión entre puntales

y soleras se hace clavando tablillas de 0.4 m de longitud en ambos lados. Los puntales descansan sobre tacos con cuñas entremedio para facilitar el desencofrado. Los puntales se conectan con piezas diagonales para rigidizar el encofrado.

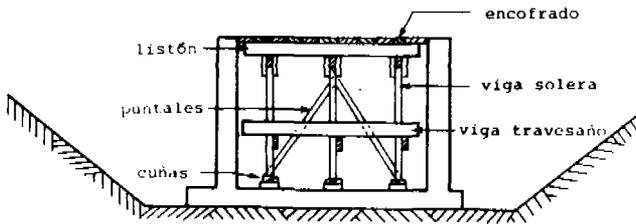


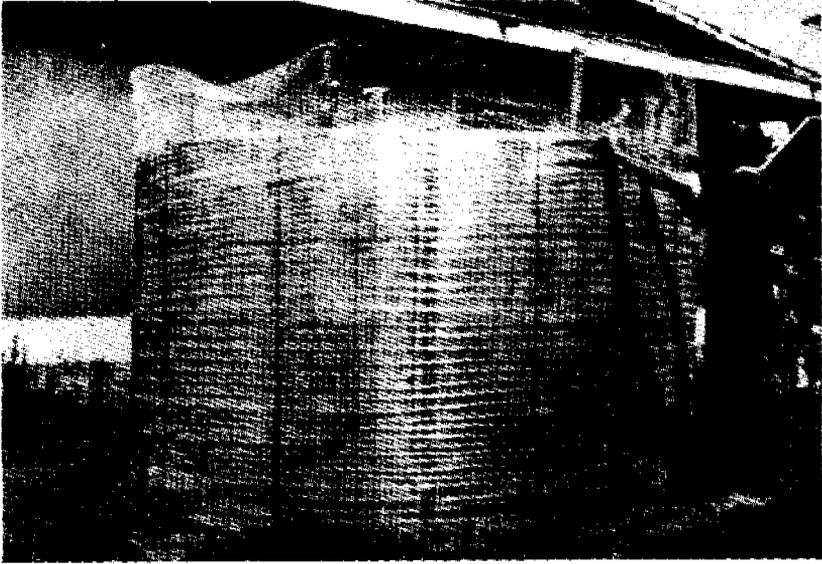
Figura 7.4. Encofrado de la cubierta

7.5. LISTA DE VERIFICACION PARA LA SECUENCIA DE OPERACIONES EN LA CONSTRUCCION DE FILTROS LENTOS

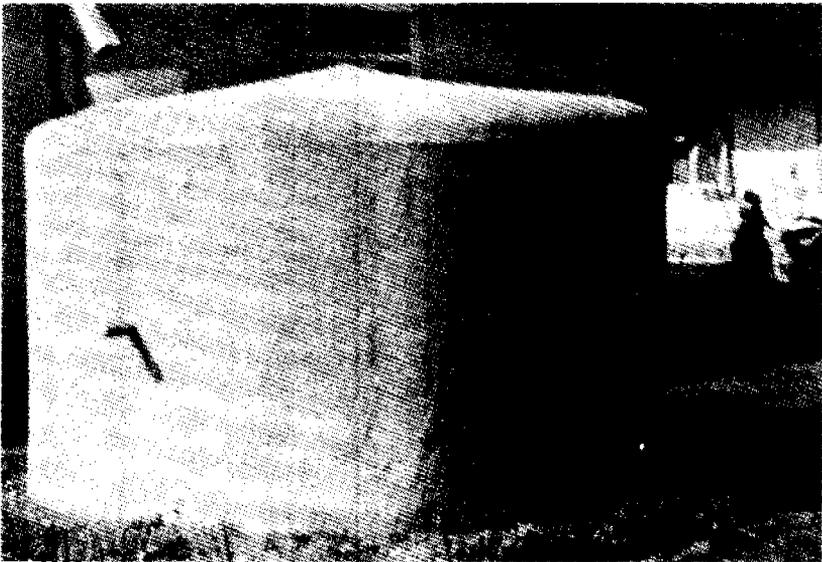
La construcción de filtros lentos se hace de acuerdo con los principios corrientes en construcción. Entre otras cosas, esto significa que ciertas operaciones pueden ser realizadas sólo cuando otras ya han sido terminadas, vale decir que hay una secuencia de operaciones que está determinada por el proceso de la construcción y las características físicas de los materiales usados. En este párrafo se da una sencilla lista de verificación en la que se

resume la secuencia de operaciones que tienen lugar en la construcción de filtros lentos de arena:

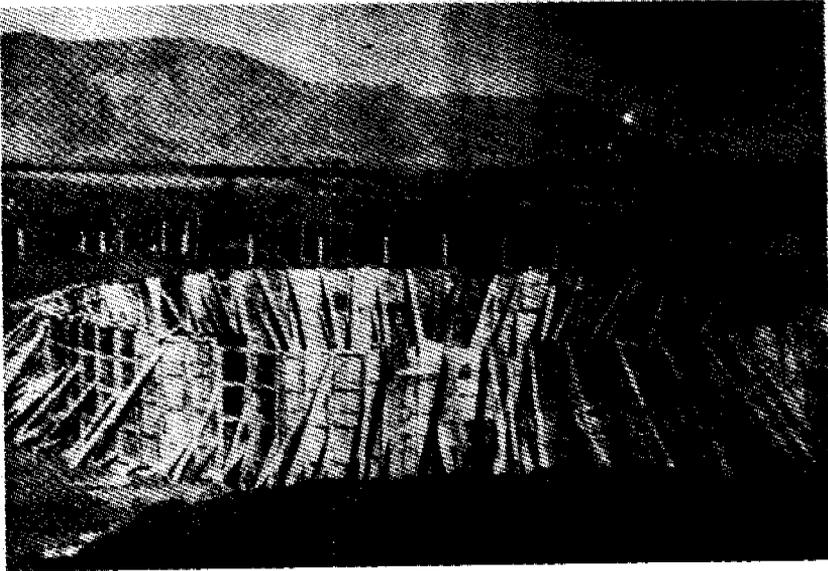
- limpieza de terreno
- replanteo y trazado
- (drenaje del foso de la construcción)
- excavación
- trabajos de hormigón de la cimentación
- v. gr. armado del encofrado
 - colocación del refuerzo
 - preparación del hormigón
 - vaciado del hormigón
 - curado del hormigón
 - desencofrado
- trabajos de hormigón de los muros del filtro
 - análogos a los trabajos de cimentación
- instalación de tuberías y pasos
- terminado de las obras de hormigón
- colocación del sistema de drenajes
- colocación de las capas de grava
- colocación de la arena del filtro
- (cesación de las medidas de drenaje)
- terminación de obras accesorias



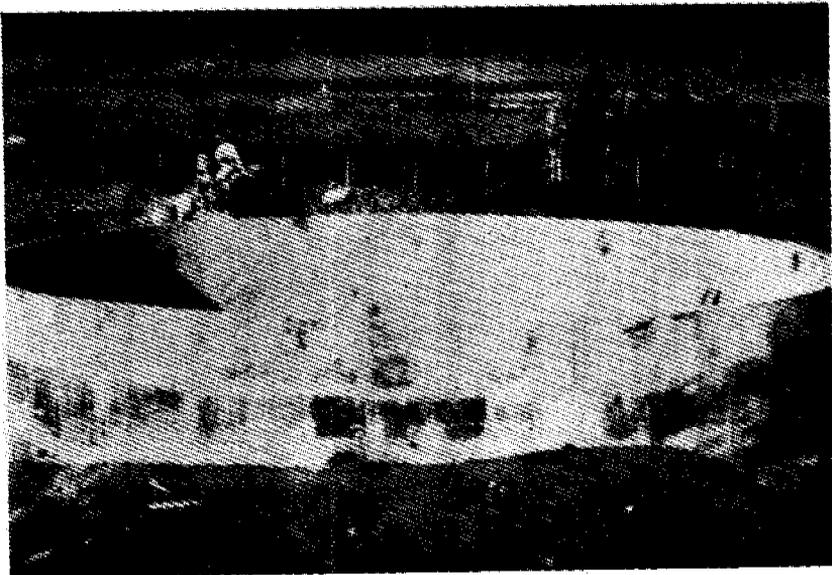
Construcción de un tanque de agua de ferrocemento, Lombok, Indonesia.



Tanque de agua terminado. En la parte superior izquierda puede verse la tubería de entrada y el filtro simple (contiene fibra de palma).



Filtro circular de hormigón armado en construcción,
Tamil Nadu, India.



Filtro terminado



Unidad piloto de filtración lenta en arena, Nagpur, India
(National Environmental Engineering Research Institute)



Unidad piloto de filtración lenta en arena. Planta de
agua, Owabi, Ghana. (Ghana Water & Sewerage Corporation,
University of Science and Technology, Kumasi).

APENDICE 1

CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA

Este apéndice resume las Normas Internacionales de OMS para el Agua Potable (16).

a. Normas de calidad bacteriológica del agua potable:

1. A lo largo de un año, 95% de las muestras no deben indicar presencia de organismos coliformes cualquiera en 100 ml
2. Ninguna muestra debe contener E.Coli en 100 ml
3. Ninguna muestra debe contener más de 10 organismos coliformes por 100 ml
4. No se debe detectar organismos coliformes en 100 ml de cualquiera de dos muestras consecutivas.

b. Substancias y características que afectan la aceptabilidad del agua para uso doméstico:

Substancia o Característica	Efecto indeseable que puede producirse	Nivel más alto deseable	Máximo nivel permisible
Substancias que causan color	Color	5 unidades ^a	50 unidades ^a
Substancias que causan olores	Olores	No objetable	No objetable
Substancias que causan sabores	Sabores	No objetable	No objetable
Materia en suspensión	Turbiedad Posible irritación gastrointestinal	5 unidades ^b	25 unidades ^b

Substancia o característica	Efecto indeseable que puede producirse	Nivel más alto deseable	Máximo nivel permisible
Sólidos totales	Sabor Irritación gastrointestinal	500 mg/l	1500 mg/l
Gama de pH	Sabor Corrosión	7.0 a 8.5	6.5 a 9.2
Detergentes aniónicos ^c	Sabor y formación de espuma	0.2 mg/l	1.0 mg/l
Aceite mineral	Sabor y olor después de la cloración	0.01 mg/l	0.30 mg/l
Compuestos fenólicos (como fenol)	Sabor, particularmente en agua clorada	0.001 mg/l	0.002 mg/l
Dureza total	Formación excesiva de incrustaciones	2mEq/l ^{d,e} (100 mg/l CaCO ₃)	10mEq/l (500 mg/l CaCO ₃)
Calcio (como Ca)	Formación excesiva de incrustaciones	75 mg/l	200 mg/l
Cloruro (como Cl)	Sabor; corrosión en sistema de agua caliente	200 mg/l	600 mg/l
Cobre (como Cu)	Sabor astringente; color; corrosión de las tuberías, conexiones y utensilios	0.05 mg/l	1.5 mg/l

Substancia o característica	Efecto indeseable que puede producirse	Nivel más alto deseable	Máximo nivel permisible
Fierro (total como Fe)	Sabor, color; depósitos y desarrollo de bacterias del fierro; turbiedad	0.1 mg/l	1.0 mg/l
Magnesio (como Mg)	Dureza; sabor; irritación gastrointestinal en presencia de sulfato	No más de 30 mg/l Si hay 250 mg/l de sulfato; si hay menos sulfato, puede permitirse hasta 150 mg/l de magnesio	150 mg/l
Manganeso (como Mn)	Sabor; color; depósitos en tuberías; turbiedad	0.05 mg/l	0.5 mg/l
Sulfato (como SO ₄)	Irritación gastrointestinal cuando están presente el magnesio o el sodio	200 mg/l	400 mg/l
Zinc (como Zn)	Sabor astringente; opalescencia y depósitos como arena	5.0 mg/l	15 mg/l

- a. en la escala de platino-cobalto
- b. unidades de turbiedad
- c. sustancias de referencia diferentes se usan en diferentes países

- d. si la dureza es mucho menor se pueden producir otros efectos indeseables; por ejemplo, los metales pesados de las tuberías pueden disolverse.
- e. 1 mEq/l de ion productor de dureza = 50 mg CaCO₃/l = 5.0 grados franceses de dureza = 2.8 (aprox) grados alemanes de dureza = 3.5 (aprox) grados ingleses de dureza.
- c. Límites tentativos para sustancias tóxicas en agua potable:

Substancia	Límite máximo de concentración
Arsénico (como As)	0.05 mg/l
Cadmio (como Cd)	0.01 mg/l
Cianuro (como Cn)	0.05 mg/l
Plomo (como Pb)	0.01 mg/l
Mercurio (total como Hg)	0.001 mg/l
Selenio (como Se)	0.001 mg/l

APENDICE 2

SISTEMAS SENCILLOS DE PRETRATAMIENTO

Los filtros lentos de arena no trabajan en forma adecuada si el agua cruda tiene alta turbiedad. Si la turbiedad diaria promedio es mayor de 10 UN se recomienda aplicar pretratamiento.

Almacenamiento

Un estanque de almacenamiento (véase figura A.2.1) puede servir a un triple propósito: puede mejorar la confiabilidad del abastecimiento de agua durante períodos en los que el abastecimiento de agua cruda es escaso; reduce la turbiedad por efecto de la sedimentación, y, finalmente, mejora la calidad del agua porque puede lograrse una reducción substancial de bacterias patógenas gracias a la actividad de algas, protozoos y otros organismos voraces, por un lado, y al efecto germicida de los rayos ultravioleta de la luz solar, por el otro.

Puede construirse un estanque de almacenamiento levantando una simple presa de tierra hasta una altura de unos 6 metros (puede variar entre 6 y 10 metros). Debe tenerse en cuenta el depósito de cieno que puede llegar a 100 ml por litro de agua cruda en zonas áridas, y las pérdidas por evaporación y filtraciones. El almacenamiento inactivo puede ascender a unos 2 metros. La evaporación puede alcanzar alrededor de 2 metros por año, y pérdidas por evaporación y filtraciones de 15 - 25 mm/día no son raras. El tiempo de retención será del orden de varias semanas a unos cuantos meses.

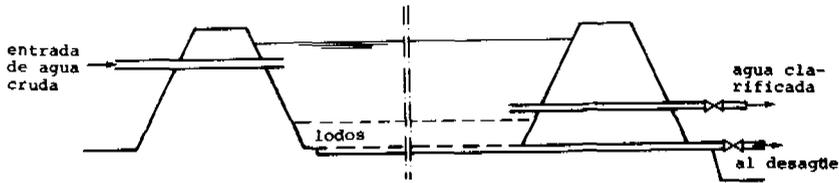


Figura A.2.1 Estanque de almacenamiento

Los reservorios de almacenamiento pequeños pueden ser recubiertos con suelo estabilizado, hormigón o mampostería para disminuir las pérdidas por filtraciones. El cieno puede ser removido por la propia agua cruda durante el tiempo de crecida o por trabajo manual. En el primer caso debe instalarse aliviaderos de desfogue, mientras que en el segundo caso, debe instalarse drenajes en el fondo para facilitar la remoción del agua del cieno. El acceso al estanque de almacenamiento debe estar restringido a un mínimo para evitar la contaminación del agua del estanque. La rutina de mantenimiento de estanques de almacenamiento debe incluir la eliminación de plantas y maleza.

Sedimentación simple

Un reservorio de sedimentación (véase figura A.2.2) sirve principalmente al propósito de reducir la turbiedad y de eliminar las sustancias en suspensión. El tiempo de retención (máximo de dos días) es pequeño en comparación con el del almacenamiento, pero debe durar lo suficiente para permitir que

los sólidos en suspensión se asienten (partículas de mayor densidad que el agua) o floten (partículas de menor densidad que el agua). El tiempo de retención de diseño debe estar basado en muestras típicas de todos los regímenes hidráulicos del río. Un reservorio de sedimentación puede tener operación intermitente o continua. La configuración más común de un sedimentador es la de una caja rectangular hecha en hormigón o mampostería, o la de un reservorio excavado con taludes protegidos.

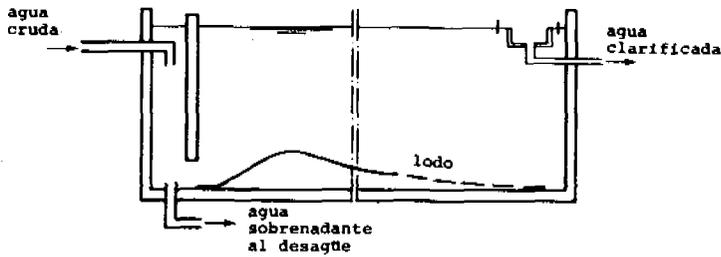


Figura A. 2.2 Tanque de sedimentación simple

La entrada de agua cruda está ubicada en uno de los lados cortos de la caja, la salida en el otro lado corto. Las estructuras de entrada y salida (véase figura A.2.3) son fundamentales para el funcionamiento adecuado del sedimentador. En la medida de lo posible el flujo entrante debe distribuirse igualmente a través de todo el ancho del tanque para reducir corrientes y cortocircuitos. La estructura de salida usualmente consiste de uno o más vertederos que se extienden a través de todo el ancho del tanque.

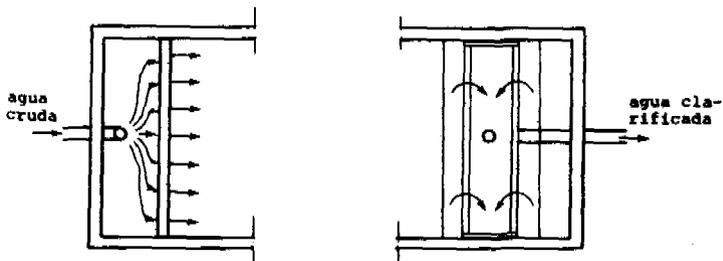


Figura A.2.3 Estructuras de entrada y de salida de un tanque de sedimentación simple

Si hay una alta concentración de algas en la superficie del agua, la salida puede estar ubicada a cierta distancia por debajo de la superficie (véase figura A.2.4).

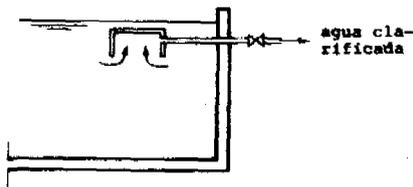


Figura A.2.4 Estructura de salida en posición sumergida

Los criterios de diseño para sedimentadores rectangulares están resumidos en la Tabla A.2.1. Se advierte que las cifras mencionadas no son de aplicación universal pero pueden servir como regla empírica.

Cuadro A.2.1 Criterios de diseño para tanques de sedimentación rectangulares

parámetro	símbolo	gama de valores
tiempo de retención	V/Q	4 - 12 horas
carga superficial	Q/A	2 metros/día - 10 metros/día
profundidad del tanque	H	1.5 - 2.5 metros
flujo de derrame del vertedero* (salida)	Q/R	3 - 10 m ³ /metro por hora
relación largo/ancho	L/W	4:1 hasta 6:1
relación largo/profundidad	L/H	5:1 hasta 20:1 para tanques pequeños

donde:

H = profundidad (en metros)

L = longitud (en metros)

W = ancho (en metros)

V = volumen del tanque: L x W x H (en metros³)

Q = caudal de alimentación de agua cruda (en m³/hora)

A = área del fondo del tanque: L x W (en m²)

R = longitud total de derrame del vertedero efluente (en metros)

Para los procedimientos de construcción de un tanque de sedimentación, el lector es referido a los capítulos 4 y 5 de este manual. La remoción de lodos puede llevarse a cabo mediante operación mecánica continua, o por medio de operación intermitente. Si la operación se ha de realizar en forma manual, método muy adecuado para pequeños abastecimientos de agua en el medio rural, el tanque debe estar dotado de drenes en el fondo para evacuar el agua sobrenadante.

El lodo puede extraerse por medio de palas y cubos o carretillas. En caso que un tanque de sedimentación tenga que ser puesto fuera de servicio periódicamente para extraer los lodos, debe construirse dos tanques de sedimentación para permitir la operación ininterrumpida de la planta de tratamiento de agua.

Filtración en el lecho del río

En la figura A.2.5 se da un posible esquema para pretratamiento por medio de filtración en lecho de río.

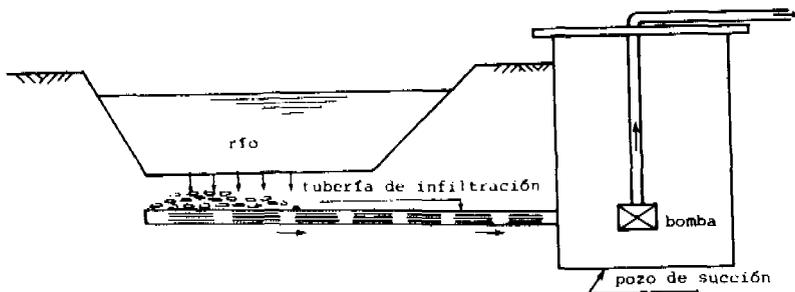


Figura A.2.5 Pretratamiento mediante filtración en lecho de río

Que la filtración en lecho de río opere o no con éxito depende del grado de obstrucción del lecho del río. En la unidad de filtración en lecho de río pueden aplicarse tasas de filtración de 5-10 m/h. El lecho filtrante debe ser construido con varias capas de grava y arena gruesa. El diámetro efectivo del material del lecho filtrante debe ir disminuyendo del fondo a la superficie del mismo.

Filtración preliminar rápida "gruesa"

La caja del filtro de una unidad de filtración preliminar rápida gruesa es similar a la caja del filtro de un filtro lento de arena,

La capa de agua sobrenadante y el lecho filtrante (p.ej. fibras de coco) deben tener un espesor de alrededor de 1 metro y la tasa de filtración de diseño debe ser de aproximadamente 0.5 m/h (gama: 0.5-1 m/h). Para limpiar el lecho filtrante de un filtro preliminar, se debe drenar por completo el agua de la caja del filtro y las fibras de coco deben sacarse y desecharse. Para reacondicionar el filtro, se debe usar una nueva provisión de fibras de coco previamente remojadas en agua durante 24 horas para eliminar las sustancias orgánicas (color). Trabajos experimentales de Thanh y Pescod (8) demuestran que el comportamiento de los filtros de fibra de coco es notablemente consistente, exhibiendo un considerable potencial para absorber la turbiedad "impacto de carga" y producir un efluente relativamente constante y satisfactorio para su subsecuente filtración lenta en arena. La turbiedad eliminada varía en total entre 60-75%.

Otros materiales filtrantes, como grava gruesa, también pueden ser usados para la filtración preliminar.

Filtración preliminar por flujo horizontal con material grueso

La filtración preliminar por flujo horizontal se puede llevar a cabo en una caja rectangular similar al estanque usado para sedimentación simple. La entrada de agua cruda está ubicada en un lado de la caja, y la salida en el lado opuesto. En la dirección principal del flujo el agua circula a través de varias capas de material grueso graduado (en la secuencia grueso - fino - grueso). La profundidad vertical del lecho filtrante se puede calcular en un metro, poco más o menos (gama: 0.8 - 1.5 m) y las tasas de filtración pueden variar entre 0.4 y 1 m/h (flujo horizontal).

La longitud total del lecho filtrante atravesado por el agua puede variar entre 4 y 10 metros.

En la figura A.2.6 se da un esquema típico de una unidad de filtración preliminar por flujo horizontal.

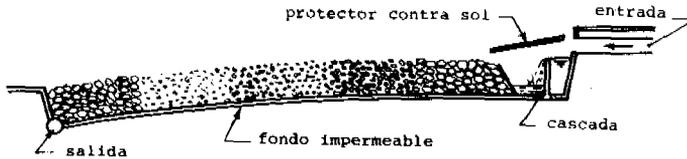


Figura A.2.6 Esquema típico de unidad de filtración preliminar por flujo horizontal

Thanh y Ouano (7) describen investigaciones de laboratorio y a escala piloto. Los resultados experimentales demuestran que estas unidades de filtración previa, después de un período de maduración de unas cuantas semanas, son bastante adecuadas para remover parte del material en suspensión en aguas crudas conteniendo una turbiedad de hasta 150 UN. Se da a conocer una remoción de turbiedad de 60-70%.

APENDICE 3

CLORACION DE SEGURIDAD Y DESINFECCION

Introducción

La desinfección sirve para destruir organismos patógenos que pueden causar diversos tipos de enfermedades hídricas (véase capítulo 2). La cloración de seguridad proporciona una medida de prevención contra futura contaminación que puede ocurrirle a un agua bacteriológicamente segura (p.ej. en un sistema de distribución). Si las condiciones son aceptables y es muy bajo el riesgo de que ocurra contaminación bacteriológica es posible decidirse a confiar en las propiedades de reducción bacteriológica del propio filtro lento de arena.

Para el medio rural de los países en desarrollo, las sustancias químicas más adecuadas para estos procesos son cloruro de cal e hipoclorito de alta graduación; la elección se hace principalmente en base a la disponibilidad y los costos en cada país o área particular.

Estas sustancias químicas se caracterizan por un cierto contenido de "cloro disponible" que es el componente desinfectante activo.

Desinfectantes químicos

El cloruro de cal (llamado a veces cal clorada) consiste en hidróxido de calcio, cloruro de calcio e hipoclorito de calcio, y en estado fresco contiene entre 20% y 35% de cloro disponible, vale decir, 20-35 partes en peso de cloro por 100 partes en peso de cloruro de cal.

El cloruro de cal, que viene en forma de polvo, es fácil de manejar aunque es voluminoso y comparativamente inestable. Cuando se almacena en un envase que se abre una vez al día durante 10 minutos, pierde más o menos un 5% de su cloro disponible en un plazo de 40 días, pero si se deja descubierto todo el tiempo por el mismo lapso, la pérdida puede alcanzar hasta el 18%. En soluciones de cloro preparadas con cloruro de cal y guardadas en un envase en un cuarto oscuro, la pérdida de cloro a lo largo de 10 días no es significativa, pero se producirá pérdida considerable en el mismo lapso si la solución es expuesta a la luz. Tanto el polvo como la solución deben guardarse en un lugar oscuro, fresco y seco, en un envase cerrado resistente a la corrosión. Los envases de madera, cerámica o plástico, son adecuados. La concentración de la solución no debe ser mayor de 2.5% ya que en concentraciones mayores puede perderse algo del cloro en el sedimento. Como el cloruro de cal (en polvo) contiene exceso de cal que es insoluble en el agua, una mezcla acuosa contendrá algunos sólidos en suspensión. Al preparar la solución es, por lo tanto, necesario mezclar el material con agua en un tanque y, después de permitir que los sólidos insolubles se depositen, decantar el líquido claro sobrenadante dentro de un tanque de almacenamiento de la solución. Si el material insoluble no es removido de esta manera, en breve plazo ocasionará el atoro de las válvulas medidoras y de las líneas de alimentación. Si se mezcla 2 kg de cloruro de cal (en polvo) conteniendo 25% de cloro disponible con 20 litros de agua se obtendrá una solución de cloro al 2.5%.

Compuestos de hipoclorito de calcio de alta graduación (HTH) contienen 60-70% de cloro disponible. Hay en existencia diferentes marcas en forma granular; éstas son mucho más estables que el cloruro de cal (en polvo) y cuando están almacenadas

se deterioran mucho menos. Los compuestos de HTH son bastante solubles en agua y puede prepararse soluciones relativamente claras si se mantiene la concentración de la solución debajo de 5%. De preferencia la fuerza de la solución debe estar entre 2% y 4%. Si se mezcla 0.84 kg (HTH) conteniendo 60% de cloro disponible con 20 litros de agua se obtendrá una solución de cloro al 2.5%.

Tal como en el caso del cloruro de cal (en polvo), los compuestos de HTH deben guardarse en un lugar oscuro, fresco y seco, en un envase cerrado resistente a la corrosión; de lo contrario puede encenderse o explotar debido a reacciones químicas exotérmicas.

Equipo de dosificación

Hay varios métodos de cloración con hipoclorito basados esencialmente en dispositivos no-mecánicos que se adaptan a pequeños abastecimientos de agua. Los llamados "hipocloradores de solución" son bastante adecuados para las unidades de tratamiento que se discuten en este manual.

Un buen ejemplo de hipoclorador de solución es el Hipoclorador de Plataforma Flotante (véase figura A.3.1.).

Una entrada de tubo de vidrio fija por debajo de un flotador permite un flujo constante de solución al punto de dosificación aún cuando el nivel del líquido desciende en el recipiente.

El gotero de vidrio introducido por debajo de la espita ayuda a que el gotero de salida no se obstruya por la formación de carbonato de calcio. Este arreglo es útil para alimentar un abastecimiento de agua con solución de cloro a una velocidad constante y, por consiguiente, es particularmente aplicable en combinación con filtros lentos de arena que tienen (ellos mismos) un caudal efluente constante.

El recipiente debe contener suficiente solución de cloro para 3 a 5 días de servicio; en caso de plantas de tratamiento mayores, puede colocarse varios recipientes en paralelo.

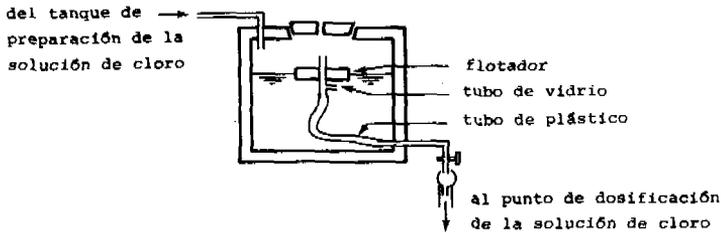


Figura A.3.1. Hipoclorador de plataforma flotante

Proceso de desinfección

Dependiendo de la calidad del agua que se va a desinfectar, se añade entre 0.5 y 2 mg de cloro disponible a cada litro de agua.

Para conseguir una desinfección óptima, la solución de hipoclorito debe mezclarse con el agua a ser tratada tan rápida y concienzudamente como sea posible. Esto puede realizarse situando el punto de dosificación de la solución de cloro justo después de un vertedero de derrame (véase figura A.3.2).



Figura A.3.2 Sistema de mezcla del cloro

Como el cloro es un agente oxidante, parte del cloro aplicado será usado por otros componentes del agua. Por lo tanto, debe aplicarse cloro suficiente para la reacción con esos componentes y con los organismos patógenos. El cloro requiere cierto tiempo para actuar sobre estos componentes y sobre los microorganismos, período que se llama "tiempo de contacto".

La eficacia del proceso de desinfección se expresa, por lo tanto, como el contenido remanente de cloro que queda en el agua ("cloro residual") después de un determinado tiempo de contacto.

En general, se recomienda para abastecimientos rurales un contenido de cloro residual de 0.5 mg/l después de 30 minutos de contacto (12).

Si, por ejemplo, debe añadirse 2 mg de cloro disponible por litro de agua para alcanzar un contenido de cloro residual de 0.5 mg/l y se está usando solución de cloruro de cal o solución HTH con una fuerza de 2.5%, 1000 litros de agua requerirán 80 ml de tal solución de hipoclorito.

APENDICE 4

INVESTIGACIONES DE SUELOS

Un buen conocimiento de la composición y de las propiedades de los suelos es de la mayor importancia para el ingeniero proyectista, ya que en cualquier estructura, prescindiendo de su diseño y de los materiales de construcción empleados, el peso de la estructura y su carga deberán ser finalmente transmitidos al suelo o terreno natural.

El comportamiento de los suelos naturales es muy complejo y aún experimentos de laboratorio muy desarrollados no pueden proporcionar información completa sobre la reacción del suelo ante las cargas de la estructura propuesta. Esto, obviamente, exige un alto factor de seguridad en el diseño. Además, dentro del ámbito del abastecimiento de agua en el medio rural, sólo se justifica llevar a cabo ensayos que sean sencillos y poco costosos, lo cual exige un diseño todavía más conservador.

Las investigaciones sobre lugares para ubicar una planta de tratamiento comprenderán, por lo general, los siguientes detalles.

1. Recopilación y revisión de toda la información disponible sobre las características geológicas y del subsuelo del área objeto del estudio. La información puede obtenerse de instituciones del gobierno que lleven registro de información geológica, así como de la experiencia y conocimientos de instituciones e individuos; p.ej., contratistas locales que hayan estado haciendo exploraciones del suelo en la zona. También puede ser útil realizar una inspección visual de las construcciones en las inmediaciones del sitio en que se piensa ubicar la planta (grietas en las paredes y asentamientos indican la presencia de estratos de suelo de alta compresibilidad).

2. Perforaciones exploratorias.

Además de las informaciones mencionadas en el párrafo 1, puede ser necesario efectuar perforaciones con el objeto de obtener muestras del subsuelo para observación directa. Las perforaciones superficiales, que alcanzan una profundidad de unos 5 metros, se practican comúnmente con barrenos. Las perforaciones más profundas, para las que se usa perforadores hidráulicos o perforadores rotatorios no serán tratadas aquí.

Los taladros de mano y los barrenos son fáciles de construir y su operación no es difícil, especialmente cuando se perfora en arena y arcilla. Los estratos más duros, tales como laterita o calcita exigen el uso de trípodes. Para aumentar la presión un número de personas puede sentarse sobre el mango cruzado mientras dos hombres hacen rotar el taladro.

Los pozos en suelos no cohesivos y aquellos por debajo del nivel freático necesitan un revestimiento para evitar derrumbes. En suelos cohesivos, las muestras del subsuelo pueden tomarse de los contenidos de barreno, y en suelos no cohesivos, las muestras pueden recogerse con achicadores o cucharas muestreadoras especiales.

Una propiedad muy importante del suelo es su resistencia a la penetración del taladro. Para medir el grado de compactación del terreno se ha desarrollado la prueba de penetración normal.

Esta consiste en contar el número de golpes que es necesario dar con un peso normalizado que cae a una altura también normalizada sobre una cuchara muestreadora estándar para hincarla en el suelo a una distancia de 0.3 m. La prueba de penetración normal proporciona información vital y los resultados dan indicación de la densidad relativa del terreno y su capacidad de resistencia.

De las muestras, tomadas a distancias regulares y recolectadas en una caja de muestras, se puede obtener información de las propiedades físicas y de la composición del suelo.

A continuación se da una relación de pruebas que son útiles para distinguir entre diferentes clases de suelos:

a. Tamaño y graduación de los granos.

Las fracciones gruesas y muy gruesas de los suelos están constituidas por granos con diámetros mayores de aproximadamente 0.06 mm, los cuales pueden ser reconocidos aún a simple vista. Se acostumbra clasificar como arena las fracciones de 0.06-2 mm y como grava la de 2-300 mm. Fragmentos aún mayores se conocen como cantos rodados. La graduación de las fracciones mayores puede ser determinada por análisis de tamices, pero también puede ser clasificada con experiencia como "bien graduada" o "mal graduada". Los granos menores de 0.06 mm no pueden ser investigados a simple vista, pero pueden ser separados de fracciones mayores lavándolos con agua. Las fracciones más finas son acarreadas por el agua y las fracciones más gruesas permanecen. La fracción de 0.06-0.002 mm se llama generalmente limo, mientras que la fracción aún menor se denomina arcilla. Estos granos sólo pueden ser examinados bajo el microscopio, pero se puede efectuar una sencilla prueba diferencial amasando una bola de suelo bajo agua. Una bola de limo se caerá en pedazos mientras que una bola de arcilla mantendrá su consistencia.

b. Dilatación

La prueba de sacudimiento proporciona información sobre la dilatación del suelo. Una torta de suelo es sacudida en la palma de la mano y se nota la apariencia de su superficie.

Si la superficie aparece brillante, los resultados se describen como conspicuos o pobres, dependiendo de la intensidad del fenómeno observado. Esto proporciona otra posibilidad de distinguir entre arcilla y limo. El limo, a diferencia de la arcilla, reaccionará positivamente.

c. Consistencia.

El grado de cohesión entre las partículas del suelo y la resistencia contra la deformación se describe como duro, consistente, plástico y blando.

Estos términos se corresponden con ciertos valores de la resistencia de compresión no confinada; la carga por unidad de área a la cual se produce la falla de muestras cilíndricas no confinadas en una prueba de compresión pura.

Además, el nivel de agua freática puede ser determinado por el contenido de agua de las muestras, al mismo tiempo que puede ser medido por un cordel cuando se ha instalado un entubado.

3. Sondajes y otras pruebas de campo

Los sondajes proporcionan información sobre la resistencia del suelo a la penetración. Se pueden usar para tener la seguridad de que el subsuelo no contiene algunos lugares blandos entre las perforaciones efectuadas y para investigar la densidad relativa de las capas no cohesivas. Uno de los procedimientos más ampliamente utilizados para la medición de la resistencia a la penetración es la prueba estándar de penetración mencionada anteriormente.

Mientras que la prueba estándar de penetración sólo proporciona un valor de resistencia por aproximadamente cada metro, muchos otros tipos de sondajes del subsuelo producen registros continuos a la penetración.

En su forma más simple, un sondaje consiste en una varilla, tubería o riel, que se hinca en el terreno por medio de un martinete. Los registros de la penetración que produce cada golpe pueden proporcionar resultados muy útiles, especialmente si se combinan con algunas perforaciones exploratorias. Junto a estos llamados métodos de sondaje dinámico, hay también métodos de sondaje estático.

Estos consisten en un cono estándar que es empujado dentro del terreno a una velocidad normalizada por medio de energía manual o mecánica. La presión ejercida sobre la varilla tiene que ser registrada por medio de un manómetro de Bourdon.

APENDICE 5

MATERIALES DE CONSTRUCCION

Los materiales de construcción más comúnmente usados en plantas de filtración lenta en arena son hormigón simple, hormigón armado, mampostería y ferrocemento.

La calidad y características de estos materiales de construcción pueden variar de lugar a lugar y de tiempo en tiempo, dependiendo de detalles tales como la naturaleza y calidad de la materia prima, las condiciones del clima y la atención que se le preste a la manipulación, procesado y terminado de los materiales. En este apéndice se dará consideración a algunos aspectos de estos materiales de construcción.

Hormigón

El hormigón consiste en una mezcla de arena, grava, cemento y agua. Es importante cerciorarse de que todos los componentes del hormigón estén verificados en su calidad y características. Para este efecto existen métodos estándar internacionales de ensayo. El ensayo no necesita hacerse en el propio lugar de la construcción; se puede tomar muestras en el lugar y examinarlas en un laboratorio.

Usualmente la calidad del hormigón es conocida localmente y por lo tanto no necesita ser comprobada obligatoriamente. Se debe tener cuidado de que el cemento no sea guardado por un período muy largo y de que sea depositado en un lugar seco.

El ensayo de la arena y la grava está dirigido a determinar su contenido de materia orgánica (prueba de Abram-Harder o prueba de ácido fúlvico). Además, la distribución granulométrica de la arena y de la grava tienen que satisfacer ciertas condiciones (que difieren para cada localidad).

El agua a ser usada tiene que ser limpia, fresca y clara.

La proporción de los componentes de la mezcla de hormigón dependerá de las características de los componentes, pero una mezcla de 1 litro de cemento a 2 litros de arena a 3 litros de grava dará, por lo general, buenos resultados.

A esta mezcla tienen que añadirse entre 120 y 160 litros de agua por cada m^3 de hormigón (3/4 litro de agua a 1 litro de cemento). Con el fin de garantizar la hermeticidad del hormigón, es importante tomar las siguientes medidas:

1. Se debe prestar especial atención a la distribución granulométrica y especialmente al contenido de materiales finos. El contenido de "finos" consiste en el cemento y la fracción de partículas de arena menores de 0.3 mm.

Los contenidos recomendados de finos son:

Cuadro A.5.1. Contenido recomendado de finos para el hormigón

	Máximo tamaño de grano (mm)	Contenido de finos (kg/m^3)
"Hormigón normal"	10	500-550
	20	425-475
	30	375-425
"Hormigón de agregado grande"	50	300-350
	80	250-300

2. La relación agua-cemento, es decir la relación del peso del agua que se usa y del peso del cemento que se usa, tiene que ser mantenida lo más baja que sea posible. Un valor de 0.5 será generalmente satisfactorio. Es

aconsejable llevar y mantener el contenido de agua a su nivel más bajo trabajable.

3. Usar la menor cantidad posible de cemento. Puede ser aconsejable incrementar el tamaño mayor de grano de la grava a, por ejemplo, 50 mm (en lugar de los 30 mm usuales), con el fin de poder reducir el contenido de cemento.
4. Prestar debida atención al terminado del hormigón. Es importante mantener húmedos los encofrados y la superficie del hormigón vaciado (rociándolos con agua cuya temperatura no sea mayor de 20-25°C) y prevenir las altas temperaturas y fuerte evaporación. Esto puede conseguirse erigiendo una cubierta temporal.

Con relación al acero de refuerzo del hormigón, es necesario tener información sobre la calidad del acero localmente disponible. En el apéndice 8 se da algunos detalles esquemáticos relacionados con el refuerzo.

Ferrocemento

El ferrocemento consiste en un mortero de arena-cemento fuertemente reforzado (porcentaje de refuerzo en peso 0.9-2.1). El refuerzo se compone de varillas de diámetro pequeños (\emptyset 5 - 6 mm) colocadas en posición vertical y horizontal. Las varillas están encastradas en malla de gallinero.

El ferrocemento es particularmente adecuado para elementos de construcción curvos (14).

Se puede usar en filtros lentos de arena circulares porque no se producen momentos flectores y son aceptables pequeñas deformaciones.

Son propiedades favorables del ferrocemento, su fácil construcción y su durabilidad. El proceso de construcción requiere mucha mano de obra, lo cual no debiera ocasionar problemas serios.

Hay dos maneras de construir un filtro lento:

1. usar armazón empotrado
2. usar molde interior o exterior

La segunda posibilidad parece más prometedora.

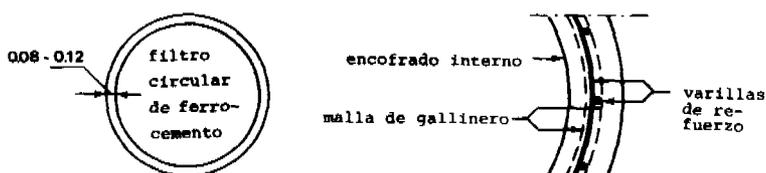


Figura A.5.1. Muro de ferrocemento

En la figura A.5.1. se da el diseño con molde interior. El refuerzo consiste en varillas de acero de 5 ó 6 mm colocadas vertical y horizontalmente, a distancias de 50 a 120 mm. Como malla de alambre es bastante adecuado usar malla de gallinero con un entramado de 20 mm.

El proceso constructivo es como sigue: desde la parte exterior de la estructura reforzada el mortero es extendido encima del refuerzo con un badilejo hasta el molde interior. El grosor del muro es usualmente entre 60 y 120 mm. La composición del mortero es de 1 parte de cemento y 2 partes de arena. La arena no debe ser demasiado gruesa. Parte del cemento (por ejemplo 10%) puede ser reemplazado por puzzolana, si hay disponible, para prevenir una alta incorporación de agua.

Para proteger la estructura contra la intemperie y con el fin de obtener un alto grado de hermeticidad o impermeabilidad, el terminado puede hacerse recubriéndola con una capa de brea epóxica o de caucho natural.

Mampostería

La calidad de la mampostería y del mortero debe ser elevada con el objeto de obtener una estructura hermética. El espesor de la pared será del orden de 0.30 - 0.40 m para filtros circulares cuyo diámetro sea de unos 5 - 10 m. Puntos importantes en la preparación del aparejo para el muro son:

1. las juntas verticales nunca deben ubicarse unas sobre la otra
2. las juntas verticales deben extenderse a lo largo de todo el espesor del muro, si es posible
3. los ladrillos no deben partirse en piezas menores de la mitad del tamaño normal disponible localmente

Los morteros para la mampostería consisten en cemento o cal, arena y agua.

Una mezcla de 1 parte de cemento y 2-2.5 partes de arena será adecuada. Si los ladrillos son de baja calidad, entonces la calidad del mortero debe ser también disminuida (por ejemplo a 1:4.5) con el objeto de prevenir que ocurran diferencias de contracción entre la albañilería y el mortero.

Debe recordarse, sin embargo, que ésto conducirá a una construcción menos rígida y sin duda menos hermética.

APENDICE 6

DISPOSITIVOS DE MEDICION DE FLUJO

En las plantas de filtración lenta en arena, es necesario medir el flujo que atraviesa los filtros con el fin de regular la tasa de filtración de acuerdo a un valor prefijado.

Las mediciones de flujo pueden llevarse a cabo en tuberías cerradas por medio de venturímetros u otros dispositivos, pero se hacen mejor en canales abiertos con vertederos aforadores. Los vertederos proveen un sistema bueno y sencillo de medición de flujo. Se basan en el principio de que el flujo que pasa sobre el vertedero en un canal abierto depende de la profundidad del agua sobre la cresta del vertedero. En la figura A.6.1. se dan algunos tipos posibles de vertederos junto con sus ecuaciones de descarga.

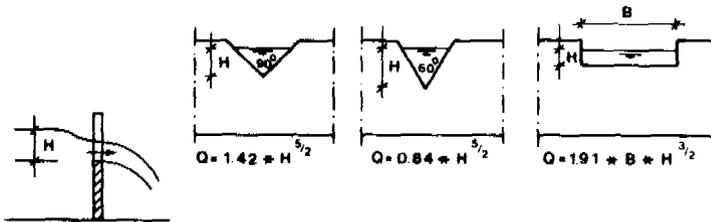


Figura A.6.1. Vertederos y ecuaciones de descarga

En la figura A.6.2. se muestra en forma gráfica la relación flujo versus profundidad del agua para vertederos rectangulares, vertederos triangulares de 90° y vertederos triangulares de 60° . Una vez que se conoce el nivel del agua sobre el punto más bajo del vertedero, se puede determinar el flujo en forma bastante simple en base a esta figura.

Los vertederos pueden construirse de madera, pero una estructura de hormigón con una plancha de acero dará lecturas más precisas. Un vertedero triangular de 90° es muy adecuado para lecturas precisas cuando se trata de caudales bajos. El nivel del agua sobre la cresta del vertedero debe medirse unos 0.3 m antes de la cresta (véase diseños típicos).

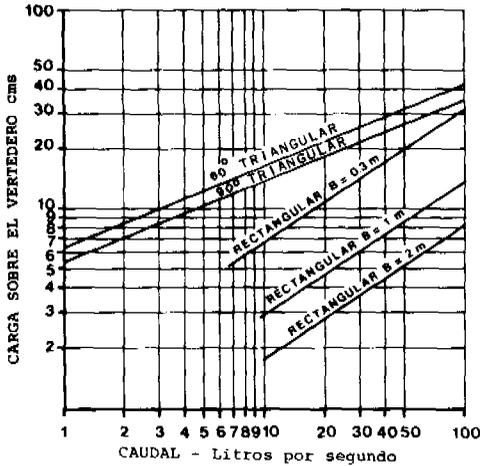


Figura A.6.2. Diagramas de caudal para tres tipos de vertederos

El caudal a través de vertederos flotantes, discutido en el párrafo 5.4., depende del diámetro de la tubería efluente y de la distancia entre el nivel del agua y la cresta de la tubería efluente. Esta distancia tiene que ser ajustada de acuerdo al flujo deseado. La figura A.6.3. da una indicación del caudal a través de vertederos flotantes para diferentes diámetros de tubería y valores varios de d .

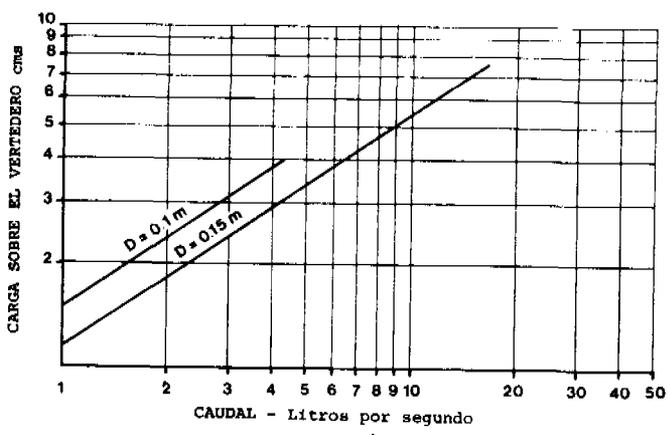


Figura A.6.3. Caudal a través de vertederos flotantes.

Debe tenerse presente que siempre es limitada la precisión de las mediciones de caudal y que es aconsejable calibrar regularmente el vertedero aforador (p.ej. por medio de determinación de volúmenes con vasijas y un reloj pulsera).

APENDICE 7

ANALISIS DE CALIDAD DEL AGUA

En el caso del abastecimiento de agua para uso doméstico, se requiere ensayos de calidad del agua, ya sea regulares o periódicos, para los siguientes propósitos:

- selección de una fuente de agua
- examen y control de la fuente de agua o del rendimiento de un sistema de tratamiento de agua.

Generalidades

Los ensayos de calidad del agua pueden incluir análisis de amplio espectro de los componentes físicos, químicos y bacteriológicos de una muestra de agua o un examen de tan sólo unos cuantos parámetros cruciales de calidad del agua (véase también apéndice 1).

Los análisis de agua de amplio espectro requieren de laboratoristas bien entrenados y experimentados, que cuenten con suficientes y adecuados equipos de laboratorio y reactivos.

Por lo tanto, es preferible que tales análisis se realicen en un laboratorio de las autoridades distritales o regionales.

Si se elige agua de río como fuente de una unidad de filtración lenta en arena, debe acopiarse información, durante la etapa del planeamiento, sobre las variaciones de la calidad del agua del río para un año hidrológico* completo. En otras palabras, uno debe tener suficiente información sobre la calidad del agua del río durante la estación seca, así como durante la época de avenidas. La turbiedad del agua cruda es un parámetro crucial para una unidad de filtración lenta en arena, y se debe prestar especial atención a los valores de este parámetro durante el inicio de la temporada lluviosa, cuando es

probable que el agua de escorrentía cargue escombros transportables y sedimentos de la cuenca fluvial y el propio lecho del río que está siendo "limpiado" por la rápida creciente del agua. La información requerida la pueden tener disponible las autoridades de agua; de otro modo se debe tomar muestras para ensayo y análisis en un laboratorio bien equipado. Para tales muestras debe usarse botellas limpias de vidrio o de material plástico, selladas con un tapón de caucho o de plástico. Se debe lavar la botella por lo menos tres veces con una pequeña cantidad del agua que se tomará de muestra y luego llenarla y rotularla inmediatamente con indicación de hora, fecha y lugar. La botella debe ser sumergida en un punto a corta distancia de la orilla del río y se debe tener cuidado de evitar que escombros gruesos flotantes o lodo removible del fondo ingresen en la botella. Las muestras tomadas de este modo son adecuadas para examen físico y químico, más no para ensayos bacteriológicos. Las muestras no deben ser menores de dos litros y deben ser enviadas para su análisis sin demora.

Si la información referente a la composición física y química de las muestras ha demostrado que la fuente de agua puede producir agua adecuada para el consumo humano mediante la filtración lenta en arena (con o sin pretratamiento), sólo se requerirá repetir los ensayos completos en forma periódica (es decir cada 1-3 meses). Estos sirven para verificar si la fuente de agua sigue siendo aceptable y si la unidad de filtración lenta en arena está funcionando correctamente, de modo que se produzca agua pura adecuada para el consumo humano.

Examen bacteriológico

Uno de los parámetros que requiere un examen más seguido (una vez por semana o por lo menos una vez al mes) es la calidad bacteriológica del agua cruda y del agua tratada. La calidad bacteriológica

del agua es de interés principal, debido al riesgo de epidemias de enfermedades hídricas (véase capítulo 2). Tales análisis tienen que llevarse a cabo en el sitio de la unidad de tratamiento, ya que cualquier demora en analizar una muestra conducirá a resultados incorrectos debido a la continua actividad biológica en la botella de la muestra.

Una de las limitaciones de los diversos métodos de análisis bacteriológico es la demora de los plazos requeridos para producir resultados.

El análisis de fermentación en tubo múltiple para bacterias coliformes necesita entre 48 y 96 horas desde la toma de la muestra hasta los resultados. El análisis por filtro de membrana, 18-22 horas. Además los análisis bacteriológicos requieren ciertas técnicas y equipo de laboratorio que no están disponibles frecuentemente. Los análisis también son bastante costosos.

Un método de análisis bacteriológico adecuado para los países en desarrollo es la técnica que usa el filtro de membrana. Los filtros de membrana usados en bacteriología del agua son discos de material plástico planos, porosos, flexibles, de más o menos 0.15 mm de espesor y usualmente de 47-50 mm de diámetro. El tamaño de los poros es controlado estrictamente, para bacteriología del agua, el diámetro del poro es usualmente de 0.5 micrómetros.

Se filtra una muestra de agua a través del filtro de membrana, el filtro se coloca luego sobre medio agar para cultivo bacteriológico o sobre una almohadilla de papel impregnada con medio de cultivo húmedo, y la preparación es incubada durante un tiempo especificado bajo condiciones prescritas de temperatura y humedad. El resultado del cultivo bacteriológico es entonces examinado e interpretado.

Como una discusión más detallada de los diversos métodos de análisis bacteriológicos escapa el alcance de este manual, el lector es referido a "Surveillance of drinking-water quality" (13) y otras publicaciones.

Equipo de campo

En años recientes se ha puesto a disposición de los interesados algunos equipos de campo que permiten que laboratoristas entrenados realicen análisis en diferentes lugares durante excursiones de trabajo o estudio.

Por ejemplo, La Hach Chemical Company (21) ha desarrollado varios equipos de campo que incluyen instrumentos y reactivos para determinar la mayor parte de los parámetros de calidad del agua mencionados en el apéndice 1, ítem b. Algunos de los equipos de campo Hach están equipados para examinar entre 10 y 20 parámetros, en tanto que otros han sido especialmente desarrollados para examinar un parámetro específico.

Un equipo de ensayo portátil muy adecuado para estudios bacteriológicos ha sido desarrollado por Millipore (22). Este equipo de análisis está basado en la técnica de filtración con membrana descrita antes.

Algunos ensayos sencillos que pueden proporcionar mucha información útil pueden ser llevados a cabo por el operador de la planta de filtración lenta en arena, p.ej. la observación de una muestra tomada del agua cruda en un cilindro de vidrio. La turbiedad puede ser advertida y puede ser medida por comparación con otras muestras o con preparados estándar. La utilidad del asentamiento estático puede ser observada y también puede ser apreciada la naturaleza del material en suspensión, sea animal, vegetal o mineral. Si el proceso de

desinfección en una planta de tratamiento se efectúa por medio de compuestos de cloro, las pruebas de cloro residual también pueden ser realizadas por el operador de la planta. En plantas más grandes, puede considerarse un adiestramiento elemental en laboratorio para los operadores de planta, que los capacite en el uso de algunos de los equipos de ensayo de campo arriba mencionados.

APENDICE 8

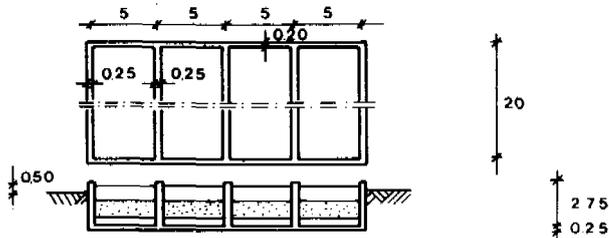
CALCULOS ESTRUCTURALES DE UNA CAJA DE FILTRO DE HORMIGON

Para conveniencia del lector, se da a continuación algunos detalles de los cálculos estructurales de una caja de filtro de hormigón. Puede hallarse información más elaborada sobre este tema en los libros de texto mencionados en la bibliografía.

Datos:

1. Resistencia a la compresión* del hormigón 17.5 N/mm^2
2. Resistencia a la tensión* del acero 220 N/mm^2
3. Nivel del terreno 0.50 m bajo el nivel superior del filtro
4. Nivel freático 0.70 m bajo el nivel superior del filtro
5. Gravedad específica del suelo natural 1.9
6. Gravedad específica del hormigón 2.4
7. Gravedad específica de la arena y de la grava 1.6

Diagrama



Cálculo del fondo del filtro

Tiene que verificarse el empuje ascendente que ejerce la presión del agua freática sobre la construcción:

1. Peso de la estructura:

(longitud x altura x espesor x gravedad)

muros	2 x 20 x 2.75 x 0.2 x 24	=	528 kN
	5 x 20 x 2.75 x 0.25 x 24	=	1650 kN
piso	20 x 20 x 0.25 x 24	=	<u>2400 kN</u>
			4578 kN

2. Presión del agua freática (carga de agua x longitud x ancho x gravedad)

$$2.3 \times 20 \times 20 \times 10 = 9200 \text{ kN}$$

Se desprende de los cálculos que si la caja del filtro está vacía, se producirá su flotabilidad. Sin embargo, la grava del filtro y parte de la arena del filtro permanecerán en el filtro, así que su peso puede ser sumado al peso de la estructura.

(longitud x ancho x altura x gravedad)

Peso de la grava	20 x 20 x 0.5 x 16	=	3200 kN
Peso de la arena	20 x 20 x 0.6 x 16	=	3840 kN

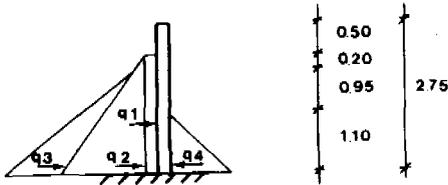
Como el peso total de la estructura y del lecho filtrante es más de 1.15 (factor de seguridad) veces la presión del agua, no es necesario preocuparse por el empuje ascendente (por supuesto que durante la construcción tendrá que tomarse providencias para el drenaje del foso de la construcción).

Como no se producen momentos de flexión grandes en el piso del filtro, será suficiente un refuerzo mínimo de \emptyset 10-200.

Cálculo de los muros del filtro

- Muro longitudinal

Diagrama



q_1 = carga superficial = $0.67 \text{ kN/m}'$ (es decir 0.67 kN por metro lineal de muro)

q_2 = carga del suelo = $1/3 \times 9 \times 2.25 = 6.75 \text{ kN/m}'$

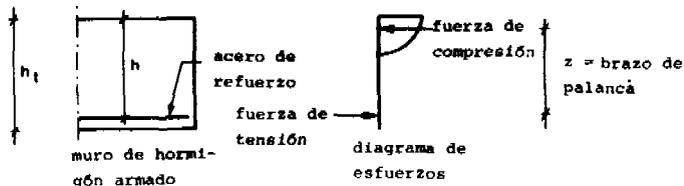
q_3 = carga del agua = $10 \times 2.05 = 20.50 \text{ kN/m}'$

q_4 = grava y arena = $1/3 \times 1.1 \times 16 = 5.9 \text{ kN/m}'$

El momento de diseño en el fondo del filtro ascenderá a:

$$M_A = 1/2 \times 0.67 \times 2.25^2 + 1/6 \times 6.75 \times 2.25^2 + 1/6 \times 20.50 \times 2.05^2 - 1/6 \times 5.9 \times 1.1^2 = 20.57 \text{ kNm}$$

El espesor del muro se fija en 0.25 m , por lo tanto el brazo de palanca es $0.8 \times 0.25 = 0.20 \text{ m}$

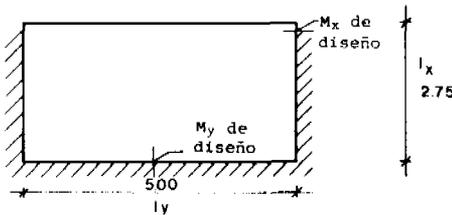


El refuerzo A puede ser calculado como el momento de diseño x un factor de seguridad dividido entre el brazo de palanca interior por la resistencia del acero a la tensión, esto es, en este caso

$$A = \frac{M_A \times 1,8}{0,2 \times 220} = 841 \text{ mm}^2/\text{m}^1, \text{ o } \emptyset 16-200 \text{ (véase figura A.8.1.)}.$$

- Muro transversal

Diagrama



El muro transversal puede ser calculado como una placa fija empotrada en tres bordes. Los momentos de diseño resultan de la relación l_y/l_x y pueden ser obtenidos de tablas especiales (lit. 17, 18).

$$M_x \text{ diseño} = \frac{0.67 \times 2.75^2}{6} + \frac{27.25 \times 2.75^2}{13} = 16.7 \text{ kNm},$$

por lo tanto $A = 853 \text{ mm}^2$ ($\emptyset 16-200$)

$$M_y \text{ diseño} = \frac{0.67 \times 2.75^2}{4} + \frac{27.25 \times 2.75^2}{18} = 12.72 \text{ kNm},$$

por lo tanto $A = 650 \text{ mm}^2$ ($\emptyset 16-250$)

La influencia de la pequeña carga interior, q_4 se ha despreciado.

En la figura A.8.1. se dan los esquemas de colocación del refuerzo, tanto para las cajas de filtro como para el tanque de agua filtrada del diseño típico No. IV. (párrafo 6.4.)

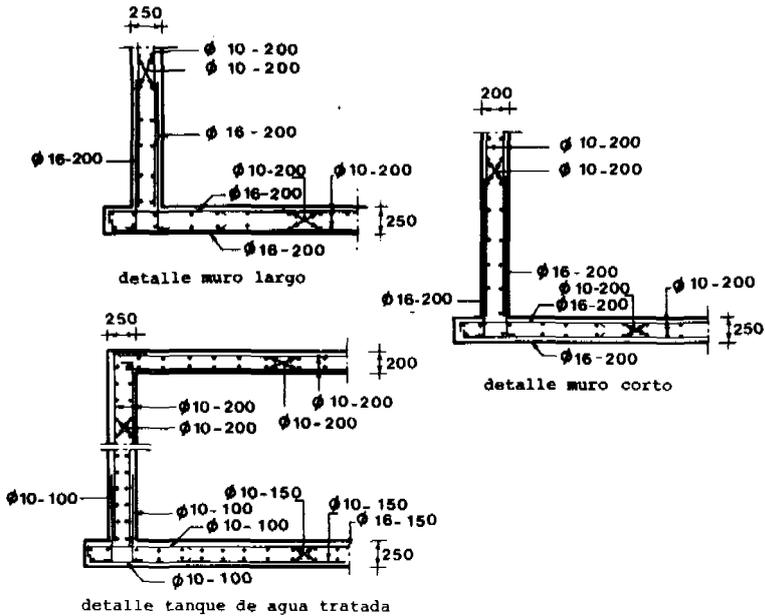


Figura A.8.1. Esquemas del refuerzo de la caja del filtro y del tanque de agua filtrada.

APENDICE 9

DIRECCIONES DE LAS ORGANIZACIONES MIEMBROS DE FIDIC

La FIDIC (Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils) es una organización internacional de la que puede obtenerse información relacionada a documentos de contrato, propuestas, etc. Las organizaciones miembros en países del mundo en desarrollo incluyen:

ARGENTINA

Cámara Argentina de la
Construcción
Av. Paseo Colón 823
BUENOS AIRES

BANGLADESH

Bangladesh Thikadar Samity
23 Bangabandhu Avenue
DACCA 2

BOLIVIA

Cámara Boliviana de la
Construcción
Casilla de Correo 3215
LA PAZ

BRASIL

Cámara Brasileira de la
Construcción
Rua Do Senado 213
RIO DE JANEIRO

COLOMBIA

Cámara Colombiana de la
Construcción
A.P.T. Aéreo 28588
BOGOTA

COREA

Construction Association of
Corea Construction Building
32-23, 1-Ka, Taepyung-Ro
Joong-Ku,
SEUL

COSTA RICA

Cámara Costarricense de la
Construcción
Apt. 5260
SAN JOSE

ECUADOR

Federación Ecuatoriana de
Cámaras de la Construcción
Block Centro Comercial
Ciudadela Bolivariana
Casilla 8955
GUAYAQUIL

EL SALVADOR

Cámara Salvadoreña de la
Industria de la Construcción
Avenida Olímpica
Pasaje 3
No. 130
SAN SALVADOR

FILIPINAS

Philippine Contractors'
Association Inc.
3rd Floor, Padilla
Cond. off. Bldg.
Ortigas Commercial Center
Pasig, Rizal
MANILA

GUATEMALA

Cámara Guatemalteca de la
Construcción
Apartado Postal 2083
CIUDAD DE GUATEMALA

HONDURAS

Cámara Hondureña de la
Construcción
Apartado Postal 905
TEGUCIGALPA

HONG KONG

The Building Contractors
Association
Ltd., Hong Kong
180 - 182 Henessy Road
3rd, Floor
HONG KONG

INDIA

Builders Association of India
G-1/G-20 Commerce Centre,
7th Floor
J. Dadajee (Tardeo)
Main Road, Tardeo
BOMBAY 400034

INDONESIA

Asosiasi Kontraktor Indonesia
(Indonesia Contractors'
Association)
JI.M.H. Thamrin 57
P.P. Building, 2nd Floor
JAKARTA

MALASIA

Master Builders' Association
Federation of Malaya,
13 Jalan Gereja, 3rd Floor
KUALA LUMPUR

MEXICO

Cámara Nacional de la
Industria de la Construcción
Colima 254
MEXICO 7, D.F.

NICARAGUA

Cámara Nicaragüense de la
Construcción
Apartado Postal 3016
MANAGUA

PANAMA

Cámara Panameña de la
Construcción
Apartado Postal 6793
PANAMA 5

PERU

Cámara Peruana de la
Construcción
Paseo de la República
Cuadra 5
Edificio CAPECO, Piso 12
LIMA

SINGAPUR

Singapore Contractors'
Association
150 Neil Road
SINGAPUR

URUGUAY

Cámara de la Construcción
de Uruguay
Av. Agraciada 1670
1er Piso
MONTEVIDEO

PARAGUAY

Cámara Paraguaya de la
Construcción
Yegros 242
ASUNCION

REPUBLICA DOMINICANA

Cámara Dominicana de la
Construcción
Calle No. 9
Reparto Vista Mar
Zona 7
SANTO DOMINGO

TAILANDIA

Thai Contractors' Association
110 Vidhuya Road
BANGKOK

VENEZUELA

Cámara Venezolana de la
Construcción
Calle Villafior
Centro Profesional del Este
CARACAS

BIBLIOGRAFIA

1. Huisman, L., Wood, W.E.
Slow Sand Filtration
Organización Mundial de la Salud, Ginebra, 1974.
2. Slow Sand Filtration Project - Phase I. First
Progress Report
University of Science and Technology, Department of Civil
Engineering, Kumasi, Ghana, 1976.
3. Slow Sand Filtration Project. Report - Phase I.
National Environmental Engineering Research Institute,
Nagpur, India, 1977.
4. Slow Sand Filtration Project. Report - Phase I.
University of Nairobi, Nairobi, Kenya, 1978.
5. Slow Sand Filtration Project. Phase I. Interim Report.
University of Khartoum, Khartoum, Sudan, 1976.
6. Slow Sand Filtration Project. Report - Phase I.
Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 1976.
7. Thanh, N.C., Ouano, E.A.R.
Horizontal-Flow Coarse-Material Prefiltration.
Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 1977.
8. Slow Sand Filtration for Community Water Supply, in
Developing Countries, A Selected and Annotated Bibliography.
Centro Internacional de Referencia de la OMS para Abaste-
cimiento Público de Agua, Voorburg (La Haya), Países
Bajos, 1977.

9. Slow Sand Filtration for Community Water Supply in Developing Countries, An Operation and Maintenance Manual.
Centro Internacional de Referencia de la OMS para Abastecimiento Público de Agua, Voorburg (La Haya), Países Bajos. (en preparación).
10. Community Water Supply and Sewage Disposal in Developing Countries.
World Health Statistics Report, Vol. 26, No. 11.
Organización Mundial de la Salud, Ginebra, 1973.
11. White, G.F., Bradley, D.J., White, A.U.
Drawers of Water
University of Chicago Press, Chicago, 1972.
12. Feachem, R., Mc.Garry, M., Mara, D.
Water, Wastes and Health in Hot Climates
John Wiley & Sons, London, 1977.
13. Vigilancia de la Calidad de Agua Potable
Serie de Monografías No. 63
Organización Mundial de la Salud, Ginebra, 1976.
14. Bingham, B.
Ferrocement; Design, Techniques and Application.
Carnell Martime Press, Cambridge, 1974.
15. Conditions of Contract for Works of Civil Engineering Construction.
FIDIC, March 1977.

16. Normas Internacionales para el Agua Potable
(Tercera Edición)
Organización Mundial de la Salud, Ginebra, 1971.
17. Reynolds, C.E., Steedman, J.C.C.
Reinforced Concrete Designer's Handbook
Cement and Concrete Association, London, 1975.
18. Morgan, W.
Students Structural Handbook
Newnes Butterworths, 1976.
19. Manual of Concrete Practice
American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1974.
20. Dancy, H.K.
A Manual on Building Construction
Intermediate Technology Publications Ltd., London, 1975.
21. Hach Catalogue
The Hach Chemical Company, Ames, Iowa, 1976.
22. Millipore Catalogue
Millipore Corporation, Bedford, Massachusetts, 1976.
23. Wagner, Edmund G. y Lanoix, J.N.
Abastecimiento de Agua en las Zonas Rurales y en las
Pequeñas Comunidades
Serie de Monografías No. 42. Organización Mundial
de la Salud, Ginebra, 1959.

24. Cox, C.R.
Práctica y Vigilancia de las Operaciones de Tratamiento
del Agua
Serie de Monografías No. 49,
Organización Mundial de la Salud, Ginebra, 1964.

25. Mann, H.T., Williamson, D.
Water Treatment and Sanitation
Intermediate Technology Publications Ltd., London, 1976.

26. Saunders, R.J., Warford, J.J.
Village Water Supply
World Bank, John Hopkins University Press, 1976.

GLOSARIO

Aeración	Proceso que consiste en la continua creación de interfases aire/líquido con el fin de incrementar el contenido de oxígeno del agua. Puede lograrse de varias maneras:
	<ol style="list-style-type: none">a. permitiendo que el líquido fluya en películas finas sobre un vertedero o una láminab. rociando el agua en el airec. burbujeando aire a través del líquidod. agitando el líquido
Período de retorno de capital	Período que media entre un desembolso de capital y el reembolso de este gasto mediante el ingreso periódico que aportan los activos fijos.
Demanda química de oxígeno (DQO)	La cantidad de oxígeno consumida de un agente oxidante determinado durante el proceso de oxidación de la materia presente en una muestra (de agua). Tal como se determina normalmente, a partir del dicromato de plata catalizada, el valor se aproxima a la cantidad de oxígeno teóricamente requerida para que se produzca la oxidación completa de la materia carbonácea y su transformación en anhídrido carbónico y agua. El término está actualmente restringido al ensayo normal de laboratorio que se efectúa empleando una solución hirviente de dicromato de potasio ácido.

Resistencia del hormigón a la compresión	La máxima fuerza de compresión permisible por unidad de área antes que se produzca el cizallamiento (la deformación o falla).
Filtración en tasa declinante	Un modo específico de operación de los filtros lentos de arena. Si la boca de entrada de agua cruda al agua sobrenadante se encuentra cerrada y la válvula que regula la filtración se mantiene en posición normal, el agua sobrenadante será filtrada a una tasa de filtración continuamente declinante. Este tipo de operación puede emplearse durante la noche para ahorrar costos de mano de obra y de inversión de capital. Sinónimo de filtración con velocidad declinante.
Período de depreciación	Un período estimado (en base a la experiencia) después del cual debe reemplazarse el equipo debido al desgaste o rotura.
Capacidad de diseño	La capacidad de tratamiento (en m ³ /h) de una unidad de purificación de agua recién diseñada.
Período de diseño	El período para el cual se diseña una unidad de tratamiento o un sistema de abastecimiento de agua, o el período durante el cual, bajo condiciones normales, no se requiere ampliar la unidad de tratamiento para proporcionar a los consumidores abastecimiento de agua sin restricciones.

E.Coli

Escherichia Coli: bacteria que vive en el tracto digestivo del hombre y otros mamíferos. Como es expulsada en gran cantidad con las heces, su presencia en el agua es índice de contaminación fecal y de la posible presencia de organismos patógenos de origen estérico; normalmente no es patógena de por sí.

Vida económica

Período durante el cual el equipo origina ingresos que sobrepasan los costos de inversión de capital (interés sobre préstamos) y los costos de operación y mantenimiento.

Diámetro efectivo

Tamaño de los agujeros de la malla del tamiz a través de los cuales pasará justo el 10% del material del lecho del filtro (símbolo d_{10}). También se le llama "tamaño efectivo".

Efluente

Agua (u otro líquido) tratada en mayor o menor grado, que fluye o sale de una sección de la planta de tratamiento.

Floculación/coagulación

Proceso por el cual se da lugar a que la materia coloidal y la materia en suspensión finamente dividida coalezcan y se formen flocs (grumos) y aglomeraciones de materia floculada.

La floculación/coagulación puede lograrse agregando sustancias químicas adecuadas o puede ser la resultante de un proceso biológico.

Borde libre	Distancia vertical entre el nivel máximo de agua de un tanque y el tope superior de sus paredes laterales, y que sirve para impedir que el contenido del tanque se derrame por encima de las paredes en casos de viento fuerte.
Tasa de crecimiento anual	La tasa anual de multiplicación, expresada como tasa de incremento demográfico por unidad de población presente (en porcentaje).
Dosificador hidráulico	Equipo dosificador químico sin dispositivos mecánicos. La solución química se incorpora al agua a ser tratada por acción de la fuerza de gravedad (véase también la figura A.3.1.).
Perfil hidráulico	Gráfica que muestra las gradientes hidráulicas subsiguientes en las diversas secciones de una unidad de tratamiento por las que pasa el agua a ser tratada. Una gradiente hidráulica representa la pérdida de carga de un líquido que fluye por una tubería o un canal, a través de un lecho filtrante o una válvula, y se expresa sea como relación, como pendiente de una curva o como caída fraccionada (m/km). Cuando el líquido fluye bajo presión por una tubería, la gradiente hidráulica está dada por la pendiente de la línea que une las cotas hasta las que se elevaría el líquido en tubos de libre desfogue y bajo presión atmosférica.

Año hidrológico	Período en la vida de un río (8-12 meses) que cubre todas las variaciones de sus características hidrológicas debidas a precipitaciones pluviales, escorrentías, evaporación, extracciones o descargas artificiales (hechas por el hombre), etc.
Influente	Agua (u otro líquido), no tratada o parcialmente tratada, que entra a una sección de la planta de tratamiento.
Día de máxima	La máxima demanda de agua durante un sólo día (24 horas).
Hora de máxima	La máxima demanda de agua durante una sola hora.
NMP	Número Más Probable: un parámetro de estimación estadística de los números de bacterias viables obtenidos en el conteo de una dilución, tal como el control presuntivo de coliformes, en el cual volúmenes especificados de la muestra se siembran en una serie de tubos que contienen un medio selectivo de cultivo, y se incuban. El número más probable se obtiene examinando los tubos para determinar cuáles ofrecen respuesta positiva de crecimiento (tal como la producción de ácido y gas en el caso de coliformes), y refiriendo los patrones de tales respuestas a tablas estadísticas.

N; kN	<p>Newton: kiloNewton</p> <p>unidad de fuerza; $1\text{N} = 1\text{ kg m/s}^2 \approx 9.8\text{ kg m/s}^2$; $1\text{ kN} \approx 9800\text{ kg m/s}^2$;</p> <p>$g =$ aceleración de la gravedad ($\approx 9.8\text{ m/s}^2$).</p> <p>($10\text{N} = 1\text{ kg peso}$, aproximadamente)</p>
Presión negativa	<p>Si la pérdida de carga en el lecho filtrante fuese mayor que la carga disponible del agua sobrenadante, el agua filtrada podría drenar, separándose así del agua sobrenadante y creando un vacío parcial. Bajo tales condiciones puede producirse una condición conocida como "tranca de aire"; escapes de aire en la zona de baja presión por debajo de la piel del filtro, lo cual forma burbujas en los poros del lecho filtrante. Las "trancas de aire" pueden conducir a que parte del lecho filtrante trabaje sobrecargada con el subsiguiente deterioro de la calidad del efluente.</p>
UN	<p>Unidad de Turbiedad Nefelométrica:</p> <p>La turbiedad se mide en base a la interferencia al paso de rayos de luz a través de un líquido, causada por la presencia de materia fina en suspensión.</p> <p>($1\text{ UN} = 1\text{ UTF}$ (Unidad de Turbiedad Formazina)</p> <p>$\approx 1\text{ mg SiO}_2/\text{l}$.)</p>
Tiempo de vida física (o vida útil)	<p>Tiempo de vida física (o vida útil) de un equipo es el período (meses/años) durante el cual éste sigue en funcionamiento mientras se le dé servicio de mantenimiento y reparaciones.</p>

Factor de crecimiento demográfico	Incremento demográfico total por unidad de población presente durante cierto número de años. El factor de crecimiento demográfico se determina por la tasa de crecimiento anual y el número de años considerado (período de diseño).
Grava	Material grueso y durable de origen natural, por ejemplo "murrum".
Nata	Capa de grasas y aceites junto con partículas de plástico, material de envolver flotante, restos de vegetación y algas, que suben a la superficie de la capa de agua sobrenadante debido a que su gravedad específica es inferior a la del agua.
Reservorio de servicio	Un tanque de almacenamiento de agua clara, dentro del servicio de distribución, que provee el almacenamiento suficiente como para superar los períodos de mayor demanda y, asimismo, de carga hidráulica suficiente para hacer llegar el agua hasta todos los puntos de uso previstos.
Gravedad específica	La relación entre la masa de un volumen dado de una sustancia y la masa de un volumen igual de agua a 4 grados C° de temperatura.

Carga superficial El máximo caudal a ser tratado por día y por unidad de área, es decir, carga superficial (m^3/m^2d) =

$$\frac{\text{máximo caudal (m}^3\text{/d)}}{\text{área de la superficie (m}^2\text{)}}$$

La carga superficial puede expresarse también en m^3/m^2h (o m/h).

Resistencia a la tensión La máxima fuerza de tracción permisible por unidad de área antes que ocurra la falla o deformación.

Turbiedad Interferencia al paso de los rayos de luz a través de un líquido, causada por la presencia de materia fina en suspensión.

Coefficiente de uniformidad El coeficiente de uniformidad es la relación d_{60}/d_{10} (véase diámetro efectivo).

Venturímetro Dispositivo usado para medir el flujo de líquido en una tubería, que consiste en una contracción gradual de la misma hasta llegar a una garganta seguida de una expansión hasta alcanzar el diámetro normal. La presión se mide en la garganta, donde la presión se halla reducida, y aguas arriba, donde el diámetro es normal, por medio de pequeños tubos conectados a aparatos indicadores de nivel. La velocidad, y por lo tanto el caudal se relaciona a la diferencia de presión entre estos puntos.

Vertedero triangular	Vertedero triangular, en forma de V, cuyo angulo en el vértice es generalmente 90 grados. Se usa para medir pequeñas descargas (véase "vertedero" y el apéndice 6).
Vertedero	Estructura sobre la cual fluye agua, siendo el nivel del agua aguas abajo por lo general más bajo que la cresta del vertedero. Cuando se usa para hacer aforos (medición de caudal), el vertedero puede ser rectangular, triangular o trapezoidal y el caudal se relacionará a la altura aguas arriba del agua sobre la cresta y a la geometría de la abertura del vertedero.
Tasa de derrame del vertedero	Volumen de líquido que pasa sobre el vertedero de salida de un tanque por unidad de longitud del vertedero al tiempo de máximo caudal. Se calcula en la forma siguiente: tasa de derrame del vertedero (m^3/mh) = $\frac{\text{máximo caudal (m}^3/h)}{\text{longitud total del vertedero de salida (m)}}$

LISTA DE REVISORES

1. Mr. T.B.V. Acquah, Chief Planning and Research,
Ghana Water and Sewerage Corporation, Accra, Ghana.
2. Mr. Awad Ahmed Abdel Salam, Director Surface Water
Section, Rural Water Corporation, Ministry of
Agriculture Food and Natural Resources, Khartoum, Sudan.
3. Dr. R.C. Ballance, Sanitary Engineer, División de Salud
Ambiental, Organización Mundial de la Salud, Ginebra,
Suiza.
4. Mr. L. Chainarong, Director Rural Water Supply Division,
Department of Health, Ministry of Public Health, Bangkok,
Thailand.
5. Drs. F.W.J. van Haaren, Former Chief Amsterdam Waterworks
Laboratories, Bakel, The Netherlands.
6. Prof. Ir. L. Huisman, Professor of Sanitary Engineering,
Department of Civil Engineering, Technical University of
Delft, Delft, The Netherlands.
7. Prof. K.J. Ives, Professor of Sanitary Engineering,
Department of Civil and Municipal Engineering, University
College London, United Kingdom.
8. Dr. M. Nawaz Tariq, Director, Institute of Public Health
Engineering and Research, University of Engineering and
Technology, Lahore, Pakistan.

9. Mr. R. Paramasivam, Scientist, National Environmental Engineering Research Institute, Nagpur, India.
10. Mr. J. Pickford, Senior Lecturer, Loughborough University of Technology, Loughborough, Leicestershire, United Kingdom.
11. Sr. M. Santacruz, Supervisor de Programas de Saneamiento Básico Rural, Instituto Nacional de Salud, Bogotá, Colombia.
12. Mr. P.C. Tyagi, Chief Design Section, Ministry of Water Development, Nairobi, Kenya.
13. Prof. A.N. Wright, Professor of Sanitary Engineering, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Science and Technology, Kumasi, Ghana.

INDICE

- Aeración 29, 43, 187
- Agua freática, determinación del nivel de 154
- Algas 27, 31
- Almacenamiento, como pretratamiento 42, 137, 138
- Análisis bacteriológico, véase calidad del agua
- Análisis con filtro de membrana 169
- Análisis de muestras 167 - 171
- Análisis de agua 35, 163 - 165
- Año hidrológico 167, 191
- Area del lecho filtrante 60, 65 .
- Area requerida por filtros lentos de arena 58
- Borde libre 24, 190
- Caja del filtro 27, 65
- Cálculos estructurales 173 - 177
- Calidad bacteriológica, véase calidad del agua
- Calidad del agua, criterios para 19, 133 - 136
 - , análisis de 167 - 171
 - , mejoras por métodos de tratamiento 30, 64
- Cámara del vertedero 31
- Capa de agua sobrenadante 23
 - , regulación del nivel de 35, 84
- Capacidad de abastecimiento de agua, véase capacidad de diseño
- Capacidad de diseño 49, 112, 188
- Capacidad de producción, véase capacidad de diseño
- Carreras de ensayo del filtro 31
- Cimentación 79, 81, 82
- Cloración, véase cloración de seguridad o desinfección
- Cloración de seguridad 43, 66, 95, 145 - 149
- Cloro, véase cloro disponible

Cloro disponible 145, 146
Cloro residual 149
Cloruro de cal 145, 146, 147
Coeficiente de uniformidad 25
Coeficiente de uniformidad del medio filtrante 25 - 194
Color, remoción 30
Compuerta del vertedero 85, 91
Condiciones anaeróbicas 29
Construcción con mano de obra abundante 123
Construcción de filtros lentos de arena 76 - 84
- filtro de taludes protegidos 102 - 105
- filtro de mampostería 107 - 108
- filtro de ferrocemento 106
- filtro de hormigón 108 - 109
Construcción hermética (impermeable) 71, 80, 123, 158, 161
Consumo de agua 17
Consumo de agua, por persona por día 17
- abastecimientos no entubados 18
- abastecimientos con surtidores públicos (pilones) 18
- Conexiones entubadas 18
Contenido de oxígeno 29, 31
Controles del filtro, véase dispositivos de regulación del filtro
Cortocircuitos en filtros lentos de arena 70
Costos de los filtros lentos de arena 114, 115
Criterios de diseño 48, 64 - 66
Cronograma de trabajo 121, 122
Cronogramas 121, 122
Cuadro de barras 120, 121
Demanda de agua, diseño 53, 64
Demanda química de oxígeno 55, 187
Desinfección 44, 145 - 149

Diámetro efectivo del medio filtrante 25, 189
Dimensión de unidad del filtro 69 - 73
Dimensionamiento 47, 57, 60
Diseño de filtros lentos de arena 47, 66
Diseño mecánico de planta de tratamiento 63
Diseños típicos 103 - 116
Disposiciones para el bombeo 98 - 100
Disposiciones para el tendido de tuberías 98 - 100
Dispositivos de control, véase dispositivos de regulación del filtro
Dispositivos de regulación del filtro 23, 26, 36, 37, 87, 91, 107
Documentos de contrato 117
Ejecución 117
Elementos básicos de un filtro lento de arena 23
Eliminación de bacterias 30
Empuje ascendente de estructuras 57, 80, 96, 174
Encofrados 124 - 127
Enfermedades hídricas 19 - 20
Enfermedades relacionadas con el agua 19 - 20
Ensayo del ácido fúlvico 157
Equipos de ensayo de campo 170, 171
Escherichia coli 30, 45, 65, 189
Especificaciones de construcción 48, 69 - 98, 123, 127
Espesor del lecho filtrante 25, 26
Espuma (nata), remoción de 24, 193
Esquema - unidades de filtro 69 - 76
 - de plantas de tratamiento 57, 63, 109 - 111
Esquemas del refuerzo para filtros lentos de arena 177
Estructura de entrada 84, 85
Estructura de salida 86, 87, 88

Ferrocemento, véase construcción de filtros lentos de arena
Filtración de tasa declinante, véase operación de los filtros
Filtración en lecho del río 42, 142, 143
Filtración preliminar "gruesa" rápida 43, 65, 142
Filtración preliminar por flujo horizontal en material grueso 43, 143, 144
Filtro con taludes protegidos, véase construcción del filtro
Flotabilidad, véase empuje ascendente
Granulometría, de la arena del filtro, véase diámetro efectivo , del suelo 153
Hipoclorador de plataforma flotante 147, 148
Hipoclorito de alta graduación 145 - 147
Hormigón, véase construcción del filtro
Hormigón simple, véase materiales de construcción
Investigaciones de suelos 151 - 155
Limitaciones de los filtros lentos de arena 32
Limpieza del filtro 37
Listas de materiales 113, 118
Maduración, véase puesta en servicio
Mampostería, véase construcción de filtros lentos de arena
Materia orgánica, remoción de 30
Materiales de construcción 27, 76, 103 - 116, 157 - 161 , cantidades de 113, 114
Mecanismos de filtración 24
Medición del flujo 26, 36, 87, 163 - 165
Medio filtrante 22, 24
Microorganismos y granos de arena 24
Modo de operación 59
Número de filtros 69
Número Más Probable 55, 65, 191
Obstrucciones del lecho filtrante 31

Operación de los filtros
- continua 57
- con tasa declinante 58 - 61, 188
- intermitente 59
Operación intermitente, véase operación de los filtros
Operación y mantenimiento 34 - 36
Organización 120 - 122
Organización del sistema de abastecimiento de agua 39, 54
Patógenos, eliminación de 30
Pérdida de carga
- en tuberías 94, 98
- en válvulas 94
- en el lecho filtrante 94, 98
- sobre el vertedero 94, 163 - 165
Perfil hidráulico 93, 94, 190
Perforaciones 152
Período de depreciación 52, 64, 188
Período de diseño 49, 51, 63, 188
Período de retorno de capital 52, 187
Planeamiento 120 - 122
Población de diseño 52, 53
Postratamiento 43, 95, 96
Presión negativa, prevención de la 26, 29, 37, 86
Presión universal 74
Pretratamiento 31, 42, 95, 96
Proceso de purificación en los filtros lentos de arena 27 - 29
Propuestas 118
Prueba de fermentación en tubos múltiples 169
Puesta en marcha del filtro, véase puesta en servicio
Puesta en servicio de un filtro 34
Rearenamiento 39

Rebose

- en la caja del filtro 25

- en la estructura de salida 29

Recirculación del efluente 29

Relación agua-cemento 158

Relleno 36

Remaduración 35, 36

Rendimiento de los filtros lentos de arena 30

Requerimientos energéticos para bombas 99

Resistencia a la tensión 194

Schumtzdecke 22, 27, 35, 41

Sedimentación, como pretratamiento 29, 43, 138 - 142

Sedimentación simple 42, 138

Selección de un sistema de tratamiento de agua 44, 45

Sistema de drenaje inferior, véase sistema de drenajes

Sistema de drenes 23, 25, 89, 90

Sitio, de la planta de tratamiento 57

, de la toma de agua 56

Sombreado de los filtros lentos de arena 32

Sondajes 154

Tamaño del filtro, véase dimensión de unidad del filtro

Tanque de agua filtrada 62, 67, 96, 97

Tasa de crecimiento anual, véase tasa de crecimiento demográfico

Tasa de crecimiento demográfico 53, 64, 190 - 193

Tasa de filtración 29, 66

Tiempo de contacto para cloración 148

Toma de agua 56, 61

Trabajos de investigación en el lugar 151 - 155

Tuberías de agua 66

Turbiedad, límites para filtros de arena 30

Turbiedad, reducción por medio de pretratamiento 42, 43,
137 - 144

Ubicación de la planta de tratamiento 56

Válvula de compuerta 91

Válvula de mariposa 92

Ventajas de los filtros lentos de arena 33, 34

Ventilación 29

Vertedero 33, 163 - 165, 195

Vertedero aforador, ver vertedero

Vertedero efluente 39

Vertedero efluente flotante 36, 37, 164, 165

Vida económica 52, 189

Vida física 52, 192