

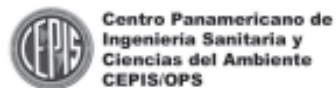
OPS/CEPIS/PUB/04.111

Original: español

# Tratamiento de agua para consumo humano

## *Plantas de filtración rápida*

### Manual II: Diseño de plantas de tecnología apropiada



Lima, 2004

© Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS) se reserva todos los derechos. El contenido de este documento puede ser reseñado, reproducido o traducido, total o parcialmente, sin autorización previa, a condición de que se especifique la fuente y de que no se use para fines comerciales.

El CEPIS/OPS es una agencia especializada de la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS).

Los Pinos 259, Urb. Camacho, Lima, Perú  
Casilla de correo 4337, Lima 100, Perú  
Teléfono: (511) 437 1077  
Fax: (511) 437 8289  
**cepis@cepis.ops-oms.org**  
**<http://www.cepis.ops-oms.org>**

## INTRODUCCIÓN

En *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual II: Diseño de plantas de tecnología apropiada* se han plasmado los avances y la experiencia acumulada en este terreno por el CEPIS/OPS durante los últimos 12 años, posteriores a la publicación de *Manual V: Diseño*, la versión anterior de este documento.

La delicada situación económica de los países y de las empresas de agua en América Latina y el Caribe ha favorecido una mayor acogida de esta tecnología, por su bajo costo inicial, su menor costo de producción y su comprobada eficiencia en relación con los demás tipos de sistemas.

Sin embargo, en la práctica, se están observando dificultades en la aplicación de esta tecnología. A través de múltiples evaluaciones, hemos detectado problemas de diseño que se repiten, por lo que hemos creído conveniente que este manual se circunscriba a proyectos de este tipo.

Se hacía necesario, entonces, detallar al máximo cómo se deben determinar los parámetros de proyecto, dimensionar, compactar y empalmar las diversas unidades, para que el resultado sea óptimo, y señalar qué se debe evitar para que el profesional que recién se inicia en proyectos de plantas de tratamiento no cometa los errores identificados.

Los criterios y procedimientos de diseño de las unidades de mezcla rápida, floculación, decantación, filtración y desinfección —procesos básicos de una planta de filtración rápida— se revisan en los capítulos 1 al 6.

Uno de los mayores problemas que se observan es que los proyectistas no adjuntan al proyecto un instructivo para la puesta en marcha y operación de la planta. Esto trae como consecuencia que el personal de operación, generalmente

sin capacitación previa ni específica, actúe simplemente por intuición, lo que afecta mucho la eficiencia del sistema. El mejor diseño puede fracasar si la operación no se realiza correctamente.

Para contribuir a superar este problema, esta edición incluye un capítulo especial (el 7) sobre este tema. En él se detalla el contenido del instructivo que debe acompañar a cada proyecto de esta naturaleza.

## RECONOCIMIENTO

Este manual ha sido elaborado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS), de la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS), y actualiza el texto publicado en 1992 con el título *Manual V: Diseño*.

La preparación y actualización de este manual ha estado a cargo de la Ing. Lidia Canepa de Vargas, asesora en Tratamiento de Agua para Consumo Humano, bajo la dirección del Dr. Mauricio Pardón, director del Centro.

Se agradece la contribución del Ing. Víctor Maldonado Yactayo en la revisión de las unidades. Asimismo, la colaboración del editor del CEPIS/OPS, Lic. Luis Andrade, y de las Sras. Inés Barbieri e Irma Sánchez, del cuerpo de secretarías del Centro, quienes colaboraron en el procesamiento del texto, así como la contribución del Sr. Washington Macutela, responsable de la impresión.



# CONTENIDO

	<b>Página</b>
INTRODUCCIÓN .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	iii
<b>CAPÍTULO 1. CASA DE QUÍMICA .....</b>	<b>1</b>
1. Almacenamiento de las sustancias químicas .....	3
1.1 Productos secos .....	3
1.1.1 Criterios de diseño .....	3
1.2 Productos en solución .....	9
1.2.1 Proceso de cálculo .....	10
2. Dosificación .....	11
2.1 Tipos de dosificadores .....	11
2.1.1 Equipos de dosificación en seco .....	12
2.1.2 Equipos de dosificación en solución .....	15
2.2 Dimensionamiento de los sistemas de dosificación .....	19
2.2.1 Sistemas de dosificación en seco .....	19
2.2.2 Dosificación en solución .....	23
2.2.3 Saturadores de cal .....	27
2.3 Recomendaciones para el proyecto .....	28
3. Defectos de diseño más comunes .....	32
4. Laboratorio de control de procesos .....	34
Referencias .....	36
Bibliografía general .....	36
Anexo A: Datos sobre las sustancias químicas más empleadas en el tratamiento de agua .....	37
<b>CAPÍTULO 2. MEZCLADORES .....</b>	<b>45</b>
1. Introducción .....	47
2. Parámetros generales de diseño .....	47
2.1 Unidades hidráulicas .....	48
2.1.1 Mezcladores de resalto hidráulico .....	49
2.1.2 Canaleta Parshall .....	58
2.1.3 Vertedero rectangular .....	67
2.1.4 Vertedero triangular .....	68

	<b>Página</b>
2.1.5 Difusores .....	71
2.1.6 Inyectores .....	77
2.3 Unidades mecánicas .....	82
2.3.1 Parámetros de diseño .....	82
2.3.2 Criterios para el dimensionamiento .....	82
Referencias .....	87
<b>CAPÍTULO 3. FLOCULADORES .....</b>	<b>89</b>
1. Introducción .....	91
2. Parámetros y recomendaciones generales de diseño .....	91
3. Unidades de pantallas .....	92
3.1 Unidades de flujo horizontal .....	93
3.1.1 Parámetros y recomendaciones de diseño .....	93
3.1.2 Criterios para el dimensionamiento .....	96
3.1.3 Aplicación .....	97
3.1.4 Recomendaciones para el proyecto y problemas de diseño más comunes .....	101
3.2 Unidades de flujo vertical .....	103
3.2.1 Parámetros y recomendaciones de diseño .....	103
3.2.2 Criterios para el dimensionamiento .....	105
3.2.3 Aplicación .....	106
3.2.4 Recomendaciones de diseño y defectos más comunes .....	110
3.2.5 Ventajas y desventajas de las unidades de pantallas .....	112
4. Floculadores del tipo Alabama o Cox .....	113
5. Floculadores de medios porosos .....	115
5.1 Parámetros y recomendaciones de diseño .....	115
5.2 Criterios de dimensionamiento .....	116
6. Floculadores de mallas o telas .....	120
6.1 Parámetros de diseño .....	120
6.2 Criterios de dimensionamiento .....	120
6.3 Aplicación y recomendaciones .....	122
Referencias .....	126
Anexo A. Viscosidad del agua .....	129
<b>CAPÍTULO 4. DECANTADORES LAMINARES .....</b>	<b>133</b>
1. Introducción .....	135
2. Decantadores de placas .....	135
2.1 Parámetros y recomendaciones generales de diseño .....	136
3. Decantadores de flujo ascendente .....	138



	<b>Página</b>
4. Zona de entrada .....	139
4.1 Criterios de diseño .....	139
5. Zona de sedimentación .....	150
5.1 Criterios específicos .....	150
5.2 Criterios para el dimensionamiento .....	153
5.3 Aplicación .....	154
6. Zona de salida .....	158
6.1 Criterios generales .....	158
6.2 Criterios para el dimensionamiento .....	159
7. Zona de lodos .....	162
7.1 Tolvas separadas y colector múltiple .....	164
7.1.1 Criterios de diseño .....	164
7.1.2 Criterios de dimensionamiento .....	166
7.1.3 Aplicación .....	167
7.2 Canal central con sifones y tolvas continuas .....	169
7.2.1 Criterios de diseño .....	169
7.2.2 Criterios de dimensionamiento .....	169
7.2.3 Aplicación .....	171
7.3 Otros sistemas de descarga de lodos .....	171
7.3.1 Descarga mecánica automática .....	171
8. Defectos de diseño más comunes .....	173
Referencias .....	178

**CAPÍTULO 5. BATERÍA DE FILTROS DE TASA DECLINANTE Y LAVADO MUTUO ..... 181**

1. Introducción .....	183
2. Ventajas de las baterías de filtros de tasa declinante y lavado mutuo .....	183
3. Descripción de una batería de tasa declinante y lavado mutuo .....	186
4. Criterios generales de diseño .....	188
4.1 Geometría de la batería .....	188
4.1.1 Área de cada filtro y número de filtros .....	188
4.1.2 Tasas de filtración .....	189
4.1.3 Drenaje, capa soporte de grava y falso fondo .....	190
4.1.4 Lecho filtrante .....	192
4.1.5 Canal de distribución de agua decantada, coagulada o prefloculada .....	194
4.1.6 Canal de aislamiento .....	195
4.1.7 Canal de interconexión .....	195
4.1.8 Válvula de entrada de agua decantada .....	195
4.1.9 Válvula de salida de agua de retrolavado .....	196

	<b>Página</b>
4.1.10	Válvula de desagüe de fondos ..... 196
4.1.11	Compuerta de aislamiento o de salida de agua filtrada ..... 196
4.2	Hidráulica del lavado ..... 197
4.2.1	Canaletas de recolección de agua de lavado ..... 197
4.2.2	Ubicación del vertedero de salida ..... 199
4.2.3	Expansión del medio filtrante durante la operación de lavado ..... 199
4.2.4	Pérdida de carga en el lecho filtrante expandido ..... 201
4.2.5	Pérdida de carga en las canaletas ..... 202
4.2.6	Pérdida de carga en el drenaje de viguetas prefabricadas ..... 202
4.2.7	Pérdida de carga en canales y orificios de compuertas ..... 202
4.2.8	Cálculo del nivel del vertedero ..... 203
4.3	Hidráulica del proceso de filtración ..... 203
4.3.1	Compuerta de entrada ..... 204
4.3.2	Drenaje ..... 207
4.3.3	Medio filtrante: arena y/o antracita ..... 207
4.3.4	Vertedero de salida ..... 207
5.	Aplicación ..... 208
6.	Criterios para el diseño de plantas de filtración directa ..... 220
6.1	Parámetros de diseño ..... 220
6.2	Dosificación ..... 221
6.3	Características del medio filtrante ..... 223
6.4	Tasa de filtración ..... 223
6.5	Control de calidad ..... 225
7.	Funcionamiento de la batería de filtros de tasa declinante ..... 225
8.	Defectos de diseño más comunes ..... 228
	Referencias ..... 232
<b>CAPÍTULO 6. SALA DE CLORACIÓN</b> .....	<b>235</b>
1.	Introducción ..... 237
2.	Criterios generales de diseño ..... 237
3.	Almacenamiento ..... 242
3.1	Criterios para el dimensionamiento ..... 242
3.2	Recomendaciones para el proyecto ..... 245
4.	Equipos de medición y control ..... 247
4.1	Equipos para aplicar hipoclorito en solución ..... 248
4.2	Hipoclorador de orificio de carga constante ..... 248
4.3	Equipos para aplicar cloro gaseoso ..... 249
4.3.1	Cloradores de aplicación directa ..... 249
4.3.2	Cloradores de aplicación al vacío ..... 252

	<b>Página</b>
4.4	Evaporadores ..... 260
4.5	Sistemas de control ..... 261
4.5.1	Sistemas automáticos ..... 261
5.	Punto de aplicación ..... 263
6.	Cámara de contacto ..... 265
6.1	Tiempo de contacto para la reducción de bacterias ..... 265
6.2	Tiempo de contacto para la reducción de parásitos ..... 265
7.	Ventilación y equipos de protección ..... 268
7.1	Sistemas de alarma ..... 269
7.2	Equipo de protección para los operadores ..... 270
8.	Recomendaciones para el proyecto ..... 271
9.	Problemas más comunes ..... 272
	Referencias ..... 276
	Anexo A: Valores TC para la inactivación de <i>Giardia</i> y virus mediante Cl <sub>2</sub> libre y otros desinfectantes ..... 277
<b>CAPÍTULO 7. INSTRUCTIVO DE PUESTA EN MARCHA Y OPERACIÓN NORMAL</b> .....	<b>285</b>
1.	Introducción ..... 287
2.	Recomendaciones para la operación de puesta en marcha ..... 287
2.1	Inspección preliminar ..... 288
2.2	Operaciones iniciales ..... 289
2.2.1	Preparación de soluciones y dosificación de productos químicos ..... 289
2.3	Llenado de la planta ..... 296
2.3.1	Procedimiento ..... 296
2.4	Lavado de filtros ..... 298
2.4.1	Procedimiento para el lavado ..... 298
2.5	Instalación de la tasa declinante ..... 299
2.5.1	Procedimiento ..... 299
2.6	Medición de caudal ..... 300
2.7	Mezcla rápida ..... 301
3	Operación normal ..... 302
3.1	Operación normal del sistema de filtración ..... 302
3.2	Filtración directa ..... 303
4.	Operación especial ..... 304
5.	Control de calidad ..... 305
6.	Operación estacional ..... 306
7.	Aspectos varios ..... 306
8.	Limitaciones del sistema ..... 307

	<b>Página</b>
Referencias .....	309
Anexo A: Toma de muestras en planta .....	310
Anexo B: Consumo anual de reactivos .....	310
Anexo C: Anotaciones diarias de la planta de tratamiento .....	311
Anexo D: Formulario resumen mensual de control de procesos en la planta X .....	313