

# MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

## EVALUACIÓN RÁPIDA DE PLANTAS POTABILIZADORAS

45



# MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

## EVALUACIÓN RÁPIDA DE PLANTAS POTABILIZADORAS

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento  
Evaluación Rápida de Plantas Potabilizadoras

ISBN: 978-607-626-002-9

D.R. © Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales  
Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209 Col. Jardines en la Montaña  
C.P. 14210, Tlalpan, México, D.F.

Comisión Nacional del Agua  
Insurgentes Sur No. 2416 Col. Copilco El Bajo  
C.P. 04340, Coyoacán, México, D.F.  
Tel. (55) 5174•4000

Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento

Impreso y hecho en México

Distribución gratuita. Prohibida su venta.

Queda prohibido su uso para fines distintos al desarrollo social.

Se autoriza la reproducción sin alteraciones del material contenido en esta obra,  
sin fines de lucro y citando la fuente

# CONTENIDO

Presentación	V
Objetivo general	VII
Introducción a la Evaluación Rápida de Plantas Potabilizadora	IX
1. Antecedentes	1
1.1. Cobertura de agua potable	1
1.2. Calidad del agua	7
1.2.1. Calidad de las fuentes de agua superficiales en México	8
1.2.2. Calidad del agua subterránea	13
1.2.3. Relación tratamiento/calidad del agua	13
1.3. Marco normativo	13
2. Unidades de proceso que conforman la potabilización del agua	15
2.1. Conceptos básicos	15
2.1.1. Medición de caudales	16
2.1.2. Coagulación	25
2.1.3. Floculación	29
2.1.4. Sedimentación	31
2.1.5. Filtración	34
2.1.6. Ablandamiento	36
2.1.7. Remoción de hierro y manganeso	36
2.1.8. Adsorción con carbón activado	37
2.1.9. Ósmosis inversa	38
2.1.10. Desinfección	39
2.1.11. Tratamiento y disposición final de lodos y residuos	40
2.2. Factores que influyen en los procesos de potabilización de agua.	42
2.3. Criterios de diseño	43
3. Evaluación de plantas potabilizadoras, diagnóstico y propuestas de solución	53
3.1. Tipos de plantas de potabilización	53
3.2. Identificación y tipificación de la problemática y propuestas de solución	60
3.3. Guía de evaluación	69
3.4. Criterios de evaluación	115
3.5. Información general de las plantas potabilizadoras evaluadas	116
3.6. Resultados obtenidos en la Evaluación	116
3.7. Diagnóstico general	119

4. Calibración de la guía de evaluación	123
4.1. Información general de las plantas potabilizadoras evaluadas para la calibración	123
4.2. Resultados obtenidos en la Evaluación	129
4.3. Diagnósticos generales de las plantas potabilizadoras visitadas	129
Conclusiones del libro	145
Bibliografía	147
Glosario	149
Tabla de Conversiones de unidades de medida	153
Ilustraciones	163
Tablas	165

# PRESENTACIÓN

Uno de los grandes desafíos hídricos que enfrentamos a nivel global es dotar de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento a la población, debido, por un lado, al crecimiento demográfico acelerado y por otro, a las dificultades técnicas, cada vez mayores, que conlleva hacerlo.

Contar con estos servicios en el hogar es un factor determinante en la calidad de vida y desarrollo integral de las familias. En México, la población beneficiada ha venido creciendo los últimos años; sin embargo, mientras más nos acercamos a la cobertura universal, la tarea se vuelve más compleja.

Por ello, para responder a las nuevas necesidades hídricas, la administración del Presidente de la República, Enrique Peña Nieto, está impulsando una transformación integral del sector, y como parte fundamental de esta estrategia, el fortalecimiento de los organismos operadores y prestadores de los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento.

En este sentido, publicamos este manual: una guía técnica especializada, que contiene los más recientes avances tecnológicos en obras hidráulicas y normas de calidad, con el fin de desarrollar infraestructura más eficiente, segura y sustentable, así como formar recursos humanos más capacitados y preparados.

Estamos seguros de que será de gran apoyo para orientar el quehacer cotidiano de los técnicos, especialistas y tomadores de decisiones, proporcionándoles criterios para generar ciclos virtuosos de gestión, disminuir los costos de operación, impulsar el intercambio de volúmenes de agua de primer uso por tratada en los procesos que así lo permitan, y realizar en general, un mejor aprovechamiento de las aguas superficiales y subterráneas del país, considerando las necesidades de nueva infraestructura y el cuidado y mantenimiento de la existente.

El Gobierno de la República tiene el firme compromiso de sentar las bases de una cultura de la gestión integral del agua. Nuestros retos son grandes, pero más grande debe ser nuestra capacidad transformadora para contribuir desde el sector hídrico a **Mover a México.**

**Director General de la Comisión Nacional del Agua**



## OBJETIVO GENERAL

El *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS)* está dirigido a quienes diseñan, construyen, operan y administran los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento del país; busca ser una referencia sobre los criterios, procedimientos, normas, índices, parámetros y casos de éxito que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en su carácter de entidad normativa federal en materia de agua, considera recomendable utilizar, a efecto de homologarlos, para que el desarrollo, operación y administración de los sistemas se encaminen a elevar y mantener la eficiencia y la calidad de los servicios a la población.

Este trabajo favorece y orienta la toma de decisiones por parte de autoridades, profesionales, administradores y técnicos de los organismos operadores de agua de la República Mexicana y la labor de los centros de enseñanza.



# INTRODUCCIÓN A LA EVALUACIÓN RÁPIDA DE PLANTAS POTABILIZADORA

Los organismos operadores por lo general tienen a su cargo el eficiente funcionamiento de las plantas potabilizadoras, por lo cual es recomendable evaluar factores como el uso adecuado de reactivos, la adecuada operación, el excesivo gasto de agua en los retrolavados, las carreras de filtración demasiado cortas, por mencionar algunos factores, que estén aumentando el costo de producir cada metro cúbico de agua, o evaluar si el tren de potabilización es el más adecuado. Esto con la finalidad de proporcionar la calidad que, de acuerdo a la norma, deberán entregar a los consumidores.

La evaluación rápida de plantas potabilizadoras comprende un análisis rápido y práctico del funcionamiento de los procesos de potabilización, así como de sus principales parámetros de diseño y de funcionamiento.

Los procesos de potabilización están en función de la calidad del agua en las fuentes de captación, pudiendo ser tan sencillos como la desinfección, o involucrar diversas operaciones unitarias como oxidación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. En algunos casos se llega a requerir intercambio iónico, ósmosis inversa o adsorción con carbón activado, entre otros procesos más especializados.

El objetivo de este manual es proporcionar herramientas para la evaluación rápida de plantas potabilizadoras, estandarizando los procesos de tal manera que los mismos organismos operadores o evaluadores externos puedan detectar los puntos de falla, su posible causa y tomar decisiones en cuanto a la manera de solucionarlas.

Este manual se compone por cuatro temas: el tema uno da un panorama general de los antecedentes y estado actual de la potabilización en México, así como su marco normativo; en el tema dos se muestran conceptos básicos sobre las unidades de proceso que conforman la potabilización, así como los factores que pudieran influir en los procesos y los criterios de diseño de los mismos, esto con el objetivo de servir de guía y capacitación sobre estos conceptos. El tema tres en sí es el instrumento de aplicación para la evaluación; consta primeramente

de una descripción de los tipos de plantas potabilizadoras y de la identificación de problemáticas y propuestas de solución en los procesos, posteriormente se presenta el instrumento o guía de evaluación para cada uno de los tipos de plantas potabilizadoras. Por último, en el tema cuatro se presenta la calibración de la guía de evaluación de 17 plantas potabilizadoras.

# 1

## ANTECEDENTES

### 1.1. COBERTURA DE AGUA POTABLE

Según el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), se considera que la cobertura de agua potable incluye a las personas que tienen agua potable entubada

dentro de la vivienda, fuera de la misma (pero dentro del terreno), en la llave pública o bien de otra vivienda. Para diciembre de 2014 se registró una cobertura nacional de agua potable del 92.3 por ciento (ilustración 1.1), lo que indica una incorporación al servicio de 1.7 millones de habitantes.

Ilustración 1.1 Porcentaje de cobertura de agua potable en México hasta 2013 (CONAGUA, 2014)

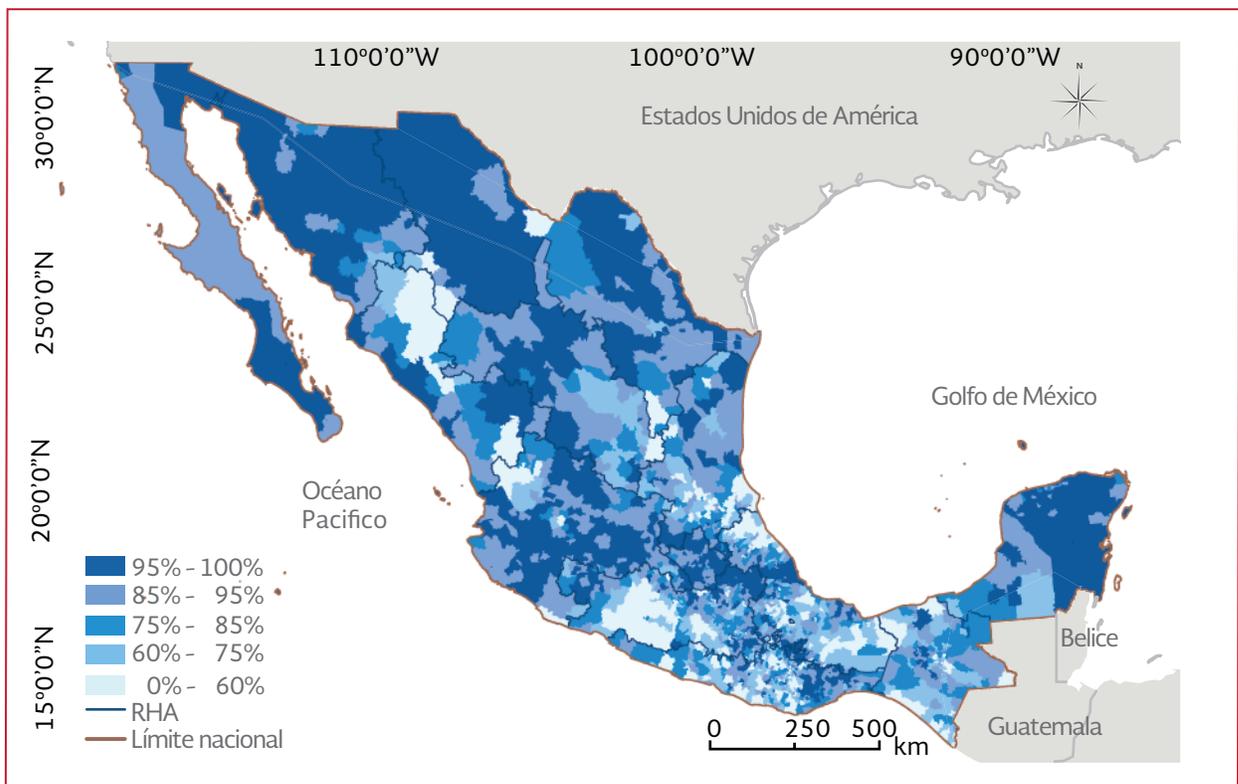


Tabla 1.1 Evaluación de la cobertura nacional de agua potable de 1990 a 2012 (CONAGUA, 2013)

Año	Población total en viviendas particulares (millones)	Habitantes (millones)		Cobertura (%)
		Con servicio	Sin servicio	
1990	80.4	63.1	17.4	78.4
1995	90.7	76.7	14.0	84.6
2000	95.4	83.8	11.6	87.8
2005	100.0	89.2	10.8	89.2
2010	110.5	100.5	10.0	90.9
2011*	112.8	103.3	9.5	91.6
2012*	114.0	104.9	9.1	92.0

Nota: Los porcentajes y sumas pueden no coincidir por el redondeo de las cifras.

\*Información a diciembre determinada por la CONAGUA. Censos de Población y Vivienda 1990, 2000 y 2010. Conteos de Población y Vivienda 1995 y 2005

En 2011 la población a nivel nacional que no contaba con el servicio era de 9.5 millones de habitantes, es decir, 500 mil menos que en 2010. Para el 2012 la población sin servicio disminuyó a 9.1 millones de habitantes (CONAGUA, 2013), lo que puede verse en la tabla 1.1. Al cierre de 2012, el registro de plantas en operación fue de 699 plantas potabilizadoras, con una capacidad instalada de 135 134.8 m<sup>3</sup>/s y un caudal potabilizado de 96 446.4 m<sup>3</sup>/s (CONAGUA, 2012).

En la tabla 1.2 se presenta la distribución de las plantas potabilizadoras en operación por entidad federativa hasta el 2012, según el *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y*

*de tratamiento de aguas residuales en operación de la CONAGUA (2012)*. Destaca el Estado de México que, con 11 plantas en operación, potabiliza un caudal de 16 739 L/s. Le sigue Jalisco con 26 plantas y un caudal potabilizado de 12 031 L/s.

En las tablas 1.3 y 1.4 se presentan las plantas potabilizadoras por estado y por proceso al año 2012. Se puede ver que el proceso más utilizado es el de clarificación convencional con 206 plantas. El segundo más usado es el tratamiento por ósmosis inversa empleado en 193 plantas, y en tercer lugar el de clarificación de patente aplicado en 158 instalaciones.

Tabla 1.2 Plantas potabilizadoras por entidad federativa, 2012 (CONAGUA, 2012)

Entidad federativa	En operación		
	N.º de plantas	Capacidad instalada (L/s)	Caudal potabilizado (L/s)
Aguascalientes	3	44.0	26.0
Baja California	31	12 156.0	6 635.9
Baja California Sur	17	215.9	215.5
Campeche	2	25.0	23.0
Chiapas	6	4 662.0	2 588.0
Chihuahua	4	650.0	380.0
Coahuila de Zaragoza	18	2 132.2	1 707.2
Colima	39	11.8	4.8
Distrito Federal	39	4 592.5	3 422.0
Durango	34	129.7	121.8
Guanajuato	29	429.8	362.5
Guerrero	13	3 548.0	3 186.0
Hidalgo	20	332.0	332.0
Jalisco	26	16 263.0	12 031.0
Edo. de México	11	22 164.0	16 739.0
Michoacán de Ocampo	5	3 025.0	2 495.0
Morelos	3	5.9	2.5
Nayarit	0	0.0	0.0
Nuevo León	12	14 571.2	7 708.2
Oaxaca	6	1 291.3	771.3
Puebla	5	815.0	514.5
Querétaro de Arteaga	7	1 769.0	1 562.0
Quintana Roo	0	0.0	0.0
San Luis Potosí	14	1,315.0	957.1
Sinaloa	144	9 523.0	8 262.6
Sonora	23	4 033.8	1 989.3
Tabasco	39	9 960	8 465
Tamaulipas	54	14 545.0	11 538.0
Tlaxcala	0	0.0	0.0
Veracruz de Ignacio de la Llave	13	6 912.0	4 393.7
Yucatán	0	0.0	0.0
Zacatecas	82	12.7	12.5
<b>Total Nacional</b>	<b>699</b>	<b>135 134.8</b>	<b>96 446.4</b>

Tabla 1.3 Plantas potabilizadoras por entidad federativa según proceso de potabilización y caudal potabilizado (CONAGUA, 2012)

Entidad federativa	Ablandamiento		Adsorción		Clarificación convencional		Clarificación de patente		Filtración directa	
	N.º	Q (L/s)	N.º	Q (L/s)	N.º	Q (L/s)	N.º	Q (L/s)	N.º	Q (L/s)
Aguascalientes					3	26.0				
Baja California					7	1 237.3			17	5 286.3
Baja California Sur									1	5.0
Campeche					2	23.0				
Chiapas					4	1 728.0	2	860.0		
Chihuahua	1	70.0			2	250.0				
Coahuila de Zaragoza					6	1 606.0			4	99.6
Colima	1	0.02								
Distrito Federal			10	1 080.0	3	295.0			11	784.0
Durango					1	100.0			2	9.3
Guanajuato	8	27.4			4	325.0				
Guerrero					9	3 051.0	1	25.0	1	45.0
Hidalgo					1	50.0	17	152.0		
Jalisco					21	10 973.0			4	58.0
México			1	20.0	6	15 539.0	1	60.0	1	450.0
Michoacán de Ocampo					4	2 365.0			1	130.0
Morelos							3	2.5		
Nayarit										
Nuevo León					7	1 002.0			2	6 694.0
Oaxaca					3	161.3			1	160.0
Puebla	1	83.5			1	100.0				
Querétaro de Arteaga					1	1 350.0	3	91.0	3	121.0
San Luis Potosí	1	28.0			4	835.0	2	20.0	3	58.5
Sinaloa					30	3 445.0	109	3 139.6		
Sonora					23	1 989.3				
Tabasco	5	60.0			29	8 000.0	4	395.0		

Tabla 1.3 Plantas potabilizadoras por entidad federativa según proceso de potabilización y caudal potabilizado (CONAGUA, 2012) (continuación)

Entidad federativa	Ablandamiento		Adsorción		Clarificación convencional		Clarificación de patente		Filtración directa	
	N.º	Q (L/s)	N.º	Q (L/s)	N.º	Q (L/s)	N.º	Q (L/s)	N.º	Q (L/s)
Tamaulipas			29	10 139.0	14	163.0	9	1 225.0		
Tlaxcala										
Veracruz de Ignacio de la Llave	2	200.0	8	4 135.2			3	58.5		
Yucatán										
Zacatecas										
Total Nacional	19	468.92	11	1 128.0	206	68 475.1	158	51 158.1	64	15 194.7

Tabla 1.4 . Plantas potabilizadoras por entidad federativa según proceso de potabilización y caudal potabilizado (CONAGUA, 2012)

Entidad federativa	Filtros lentos		Filtros de carbón activado		Ósmosis Inversa		Remoción de hierro y manganeso		Otro		Total	
	N.º	Q (L/s)	N.º	Q (L/s)	N.º	Q (L/s)	N.º	Q (L/s)	N.º	Q (L/s)	N.º	Q (L/s)
Aguascalientes											3	26.0
Baja California											31	6 635.9
Baja California Sur					16	210.5	1	85.0	6	26.4	17	215.5
Campeche											2	23.0
Chiapas											6	2 588.0
Chihuahua							1	60.0			4	380.0
Coahuila de Zaragoza											18	1 707.2
goza					8	1.6						
Colima			14	0.6	24	4.1					39	4.8
Distrito Federal	1	458.0			11	560.0	2	200.0	1	45.0	39	3 422.0
Durango					31	12.5					34	121.8
Guanajuato	4	2.4			13	7.7					29	362.5
Guerrero	1	40.0	1	25.0							13	3 186.0
Hidalgo					1	80.0	1	50.0			20	332.0
Jalisco							1	1 000.0			26	12 031.0
México							2	670.0			11	16 739.0
Michoacán de Ocampo									1	90.0	5	2 495.0
Morelos											3	2.5
Nayarit											0	0.0
Nuevo León					3	12.2					12	7 708.2
Oaxaca							2	450.0			6	771.3
Puebla					2	241.0					5	514.5
Querétaro de Ar-teaga											7	1 562.0
Quintana Roo											0	0.0

Tabla 1.4 Plantas potabilizadoras por entidad federativa según proceso de potabilización y caudal potabilizado (CONAGUA, 2012) (continuación)

Entidad federativa	Filtros lentos		Filtros de carbón activado		Ósmosis Inversa		Remoción de hierro y manganeso		Otro		Total	
	N.º	Q (L/s)	N.º	Q (L/s)	N.º	Q (L/s)	N.º	Q (L/s)	N.º	Q (L/s)	N.º	Q (L/s)
San Luis Potosí				5.1	3						14	957.1
Sinaloa						1 678.0	5				144	8 262.6
Sonora											23	1 989.3
Tabasco	1	10.0									39	8 465.0
Tamaulipas				11.0	2						54	11 538.0
Veracruz de Ignacio de la Llave											13	4 393.7
Yucatán											0	0.0
Zacatecas	3	0.2		12.2	79						82	12.5
<b>Total Nacional</b>	<b>10</b>	<b>510.6</b>	<b>15.0</b>	<b>25.6</b>	<b>193</b>	<b>4 193.0</b>	<b>15</b>	<b>8</b>	<b>161.4</b>	<b>699</b>	<b>96 446.4</b>	

## 1.2. CALIDAD DEL AGUA

Es de vital importancia para la salud pública que la comunidad cuente con un abastecimiento de agua. Esto permite cumplir con las necesidades domésticas, tales como el consumo, la preparación de alimentos y la higiene personal. Para lograr este propósito, la calidad del suministro requerido en el país debe cumplir con lo estipulado en la modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Dicha norma define las características físicas, químicas y microbiológicas del agua. También indica que debe estar exenta de organismos capaces de originar enfermedades y de cualquier mineral o sustancia orgánica que pueda producir efectos fisiológicos perjudiciales. Además debe ser aceptable desde el punto de vista estético. Por otra parte, el agua

puede requerirse para otros diversos usos, por ejemplo para la industria y la agricultura, en cuyo caso aplican otros grados de calidad y otras normativas. El agua se extrae de fuentes subterráneas y superficiales y la calidad de la fuente nos conduce al tratamiento requerido según sea la calidad esperada por el usuario.

Para el suministro de agua a la población hay que elegir la fuente apropiada de acuerdo a su disponibilidad en cantidad y calidad. Como se observa en las tablas 1.5 y 1.6, cada fuente de agua, superficial, subterránea, salobre o de mar tendrá sus propias características. Por lo tanto, es indispensable conocer la calidad del agua de las fuentes y así obtener los parámetros de diseño para su tratamiento de acuerdo con la normativa vigente.

Tabla 1.5 Principales características de aguas superficiales y aguas subterráneas (IMTA, 2007)

Características	Aguas superficiales	Aguas subterráneas
Temperatura	Variable según las estaciones del año	Relativamente constante
Turbiedad, materia en suspensión	Variabes, algunas veces elevadas	Bajas o nulas
Mineralización	Variable en función de los terrenos, precipitaciones, vertidos, etc.	Sensiblemente constante, generalmente mayor que en las aguas de superficie de la misma región
Hierro y manganeso divalentes (en estado disuelto)	Generalmente ausentes, salvo en el fondo de cauces de agua en estado de eutroficación	Generalmente presentes
Gas carbónico	Generalmente ausente	Normalmente presente en gran cantidad
Oxígeno disuelto	Normalmente próximo a saturación	Ausencia total en la mayoría de los casos
Amoníaco	Presente sólo en aguas contaminadas	Presencia frecuente, sin ser un índice sistemático de contaminación
Sulfuro de hidrógeno	Ausente	Normalmente presente
Sílice	Contenido moderado	Contenido normalmente elevado
Nitratos	Poco abundantes en general	Contenido a veces elevado, riesgos de metahemoglobinemia
Elementos vivos	Bacterias (algunas de ellas patógenas), virus, plancton	Frecuentes ferrobacterias

Tabla 1.6 Concentraciones típicas de constituyentes de calidad de agua en diferentes fuentes de agua (IMTA, 2007)

Constituyente	Unidad	Agua superficial	Agua subterránea	Agua de mar	Agua de lluvia
Biológico					
Coliformes Totales	UFC/100 mL	2 000	100	-	-
Químicos					
pH	Unidades	7.5	7.5	7.9	-
DBO <sub>5</sub>	mg/L	5	-	2	-
COT	mg/L	3	0.5	1	1
NH <sub>3</sub> -N	mg/L	0.2	0.1	-	-
N <sub>Total</sub> -N	mg/L	3	<10	0.5	-
P <sub>Total</sub> -P	mg/L	0.05	0.01	0.01	-
SiO <sub>2</sub>	mg/L	5	10	20	10
Dureza <sub>Total</sub>	mg CaCO <sub>3</sub> /L	90	120	-	-
Alcalinidad <sub>Total</sub>	mg CaCO <sub>3</sub> /L	100	150	-	-
Cationes					
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	20	50	400	0.052
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	3	5	1 350	0.05
Na <sup>+</sup>	mg/L	20	5	1 050	0.4
K <sup>+</sup>	mg/L	2	2	350	0.093
Fe <sup>2+</sup>	mg/L	0.1	0.1	0.1	-
Aniones					
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	90	120	150	-
Cl <sup>-</sup>	mg/L	25	25	20 000	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	20	10	2 800	0.98
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0.5	<10	-	-
F <sup>-</sup>	mg/L	0.2	0.1	1	-
Físicos					
SDT	mg/L	150	250	35 000	-
Turbiedad	UTN	10	<0.5	5	-
Color	UPT-Co	-	-	5	-

### 1.2.1. CALIDAD DE LAS FUENTES DE AGUA SUPERFICIALES EN MÉXICO

Según las estadísticas del agua (Conagua, 2012), la Red Nacional de Monitoreo contaba con 2 176 sitios distribuidos a lo largo y ancho del país. Para este monitoreo se emplearon tres indicadores: la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO<sub>5</sub>), la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos

suspendidos totales (SST) según datos de la Conagua (2012). Al 2012, se encuentra fuertemente contaminada el 3.8 por ciento de la distribución porcentual de sitios de monitoreo en cuerpos de agua superficial por región hidrológica administrativa (RHA). El 7.5 por ciento se encuentra contaminada, el 18.9 por ciento aceptable, el 27.5 por ciento con buena calidad y el 42.3 por ciento clasificada como excelente. (Ilustraciones 1.2 a 1.5 y tablas 1.7 a 1.9).

Ilustración 1.2 Calidad del agua en sitios de monitoreo de agua superficial según indicador DBO<sub>5</sub> (CONAGUA, 2014)

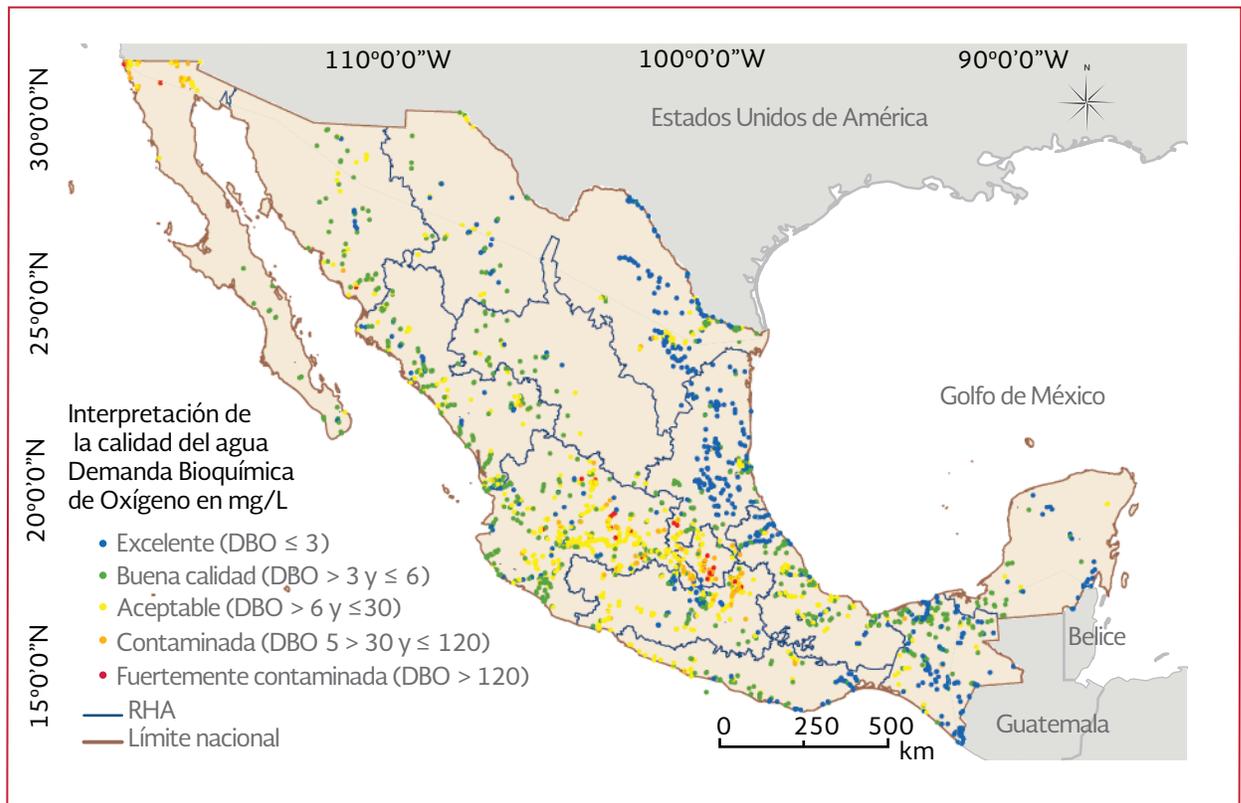


Tabla 1.7 Distribución porcentual de sitios de monitoreo en cuerpos de agua superficiales por región hidrológica administrativa de acuerdo al indicador DBO<sub>5</sub>, (CONAGUA, 2012)

RHA		Excelente	Buena calidad	Aceptable	Contaminada	Fuertemente contaminada
I	Península de Baja California	33.3	9.5	33.3	23.9	0.0
II	Noroeste	51.2	23.1	20.5	2.6	1.6
III	Pacífico Norte	70.7	12.2	17.1	0.0	0.0
IV	Balsas	38.5	29.9	17.1	11.1	3.4
V	Pacífico Sur	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VI	Río Bravo	29.1	45.3	24.4	1.2	0.0
VII	Cuencas Centrales del Norte	80.0	20.0	0.0	0.0	0.0
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	44.9	12.1	24.8	14.8	3.4
IX	Golfo Norte	83.7	9.3	2.3	4.7	0.0
X	Golfo Centro	0.0	79.2	17.0	1.9	1.9
XI	Frontera Sur	27.7	55.6	16.7	0.0	0.0
XII	Península de Yucatán	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
XIII	Aguas del Valle de México	3.7	3.7	25.9	14.8	51.9
<b>Total nacional (%)</b>		42.3	27.5	18.9	7.5	3.8

Ilustración 1.3 Calidad del agua en sitios de monitoreo de agua superficial según indicador DQO (CONAGUA, 2014)

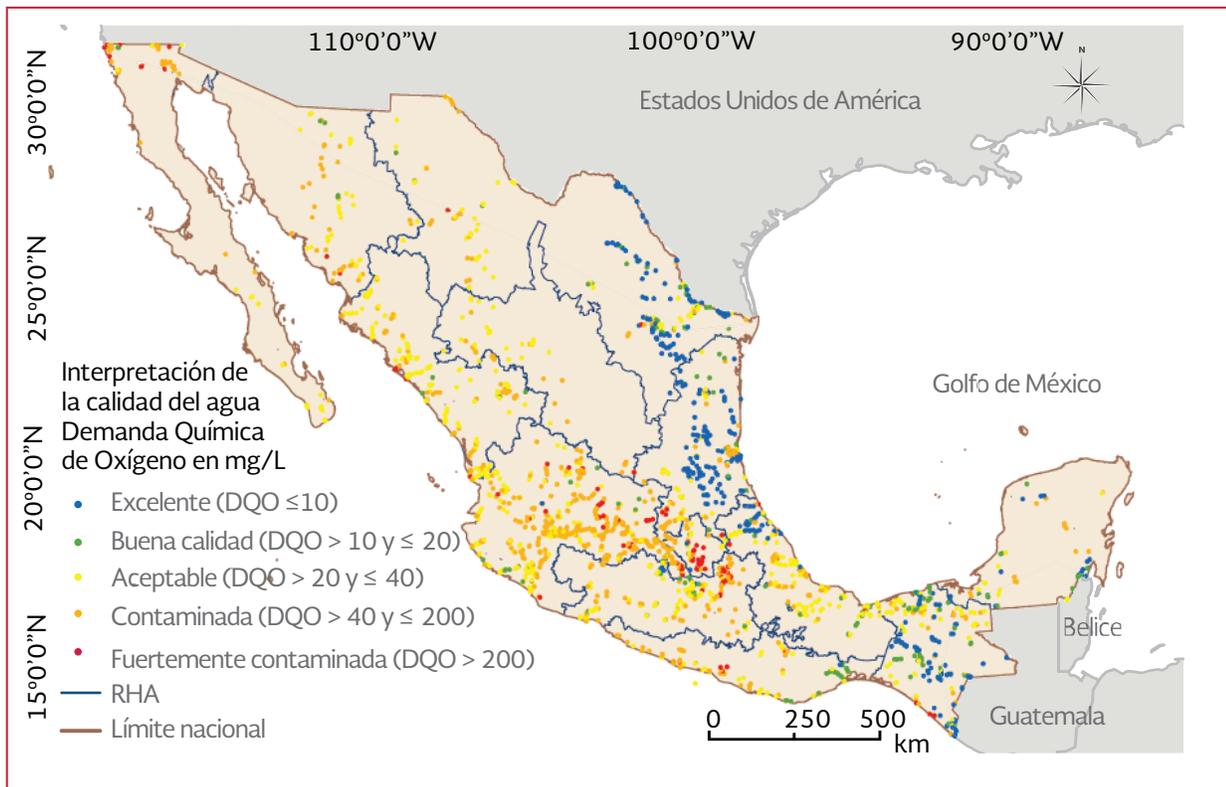


Tabla 1.8 Distribución porcentual de sitios de monitoreo en cuerpos de agua superficiales por región hidrológica administrativa de acuerdo al indicador DQO (CONAGUA, 2012)

RHA		Excelente	Buena calidad	Aceptable	Contaminada	Fuertemente contaminada
I	Península de Baja California	0.0	9.5	14.3	76.2	0.0
II	Noroeste	39.1	28.1	17.2	12.5	3.1
III	Pacífico Norte	11.8	41.2	23.5	23.5	0.0
IV	Balsas	17.0	19.7	29.1	29.9	4.3
V	Pacífico Sur	63.1	19.3	7.0	1.8	8.8
VI	Río Bravo	53.8	34.4	8.6	3.2	0.0
VII	Cuencas Centrales del Norte	35.0	45.0	15.0	5.0	0.0
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	3.3	12.0	38.0	38.0	8.7
IX	Golfo Norte	57.9	26.3	10.5	3.5	1.8
X	Golfo Centro	28.2	26.1	26.1	19.6	0.0
XI	Frontera Sur	30.5	38.9	16.7	13.9	0.0
XII	Península de Yucatán	45.0	45.0	5.0	5.0	0.0
XIII	Aguas del Valle de México	3.7	3.7	18.5	22.2	51.9
<b>Total nacional (%)</b>		<b>29.2</b>	<b>23.6</b>	<b>21.2</b>	<b>20.4</b>	<b>5.6</b>

Ilustración 1.4 Sitios de monitoreo con clasificación "fuertemente contaminado" para DBO5, DQO y/o SST (CONAGUA, 2014)

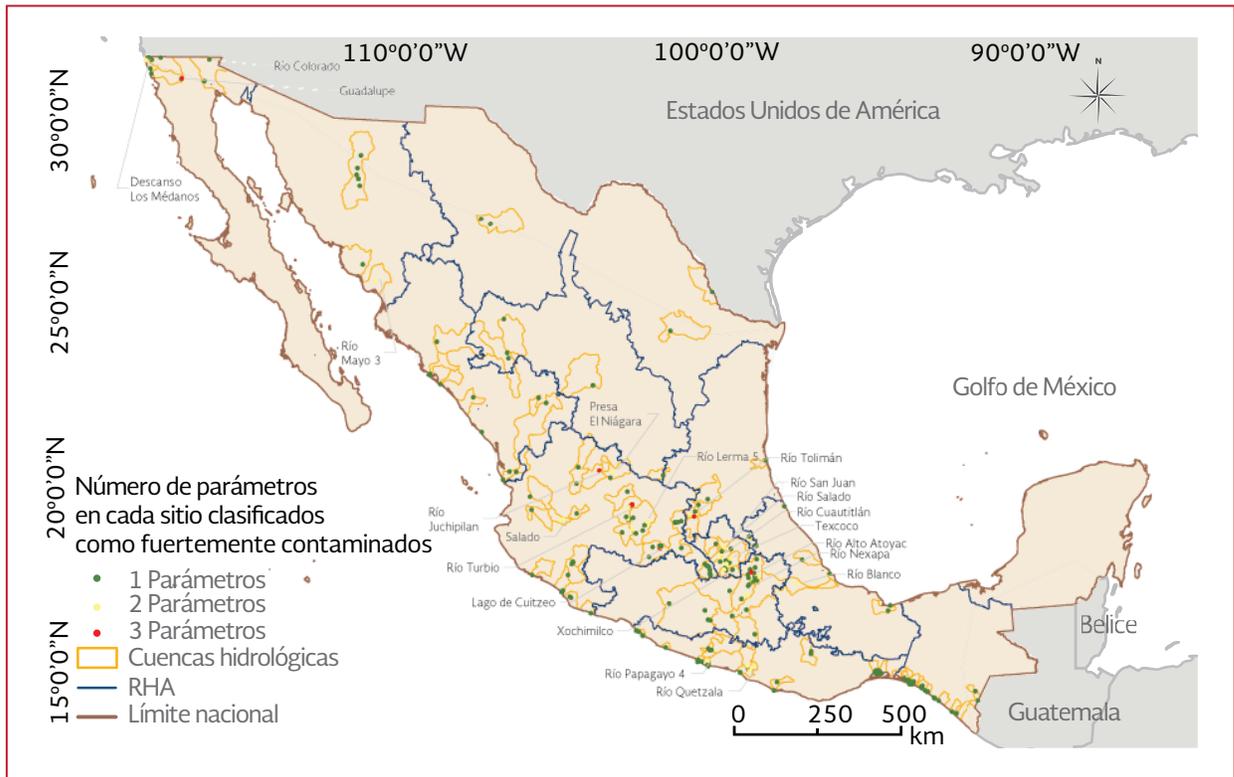


Tabla 1.9 Distribución porcentual de sitios de monitoreo en cuerpos de agua superficiales por región hidrológica administrativa de acuerdo al indicador SST (CONAGUA, 2012)

RHA		Excelente	Buena calidad	Aceptable	Contaminada	Fuertemente contaminada
I	Península de Baja California	71.7	15.1	11.3	1.9	0.0
II	Noroeste	64.0	21.9	9.4	0.0	4.7
III	Pacífico Norte	41.5	43.9	14.6	0.0	0.0
IV	Balsas	47.5	34.4	14.8	3.3	0.0
V	Pacífico Sur	50.0	37.0	7.4	5.6	0.0
VI	Río Bravo	73.1	20.4	4.3	1.1	1.1
VII	Cuencas Centrales del Norte	65.0	15.0	15.0	5.0	0.0
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	42.1	36.8	17.0	3.5	0.6
IX	Golfo Norte	52.6	38.6	8.8	0.0	0.0
X	Golfo Centro	86.8	13.2	0.0	0.0	0.0
XI	Frontera Sur	41.6	55.6	2.8	0.0	0.0
XII	Península de Yucatán	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
XIII	Aguas del Valle de México	33.3	18.5	33.3	14.9	0.0
<b>Total nacional (%)</b>		<b>55.3</b>	<b>30.2</b>	<b>11.4</b>	<b>2.5</b>	<b>0.6</b>

Ilustración 1.5 Disponibilidad de acuíferos (CONAGUA, 2014)

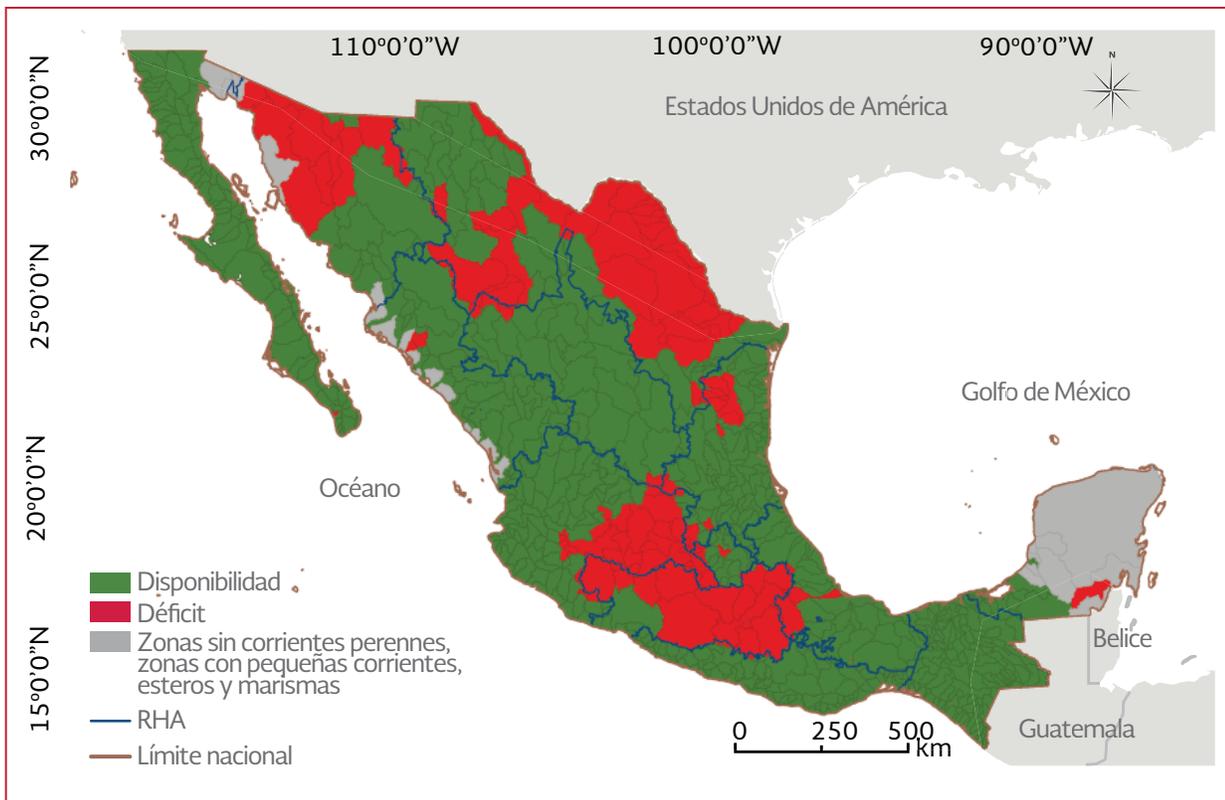


Tabla 1.10 Estándares para fuentes de aguas crudas, suministro doméstico (AWWA, 2012)

Parámetro	Fuente excelente Requiere solamente desinfección como tratamiento	Fuente buena Requiere tratamiento usual tal como filtración y desinfección	Fuente pobre Requiere tratamiento especial o adicional y desinfección
DBO, mg/L Promedio mensual	0.75 – 1.5	1.5 – 2.5	> 2.5
NMP de coliformes/100 mL Promedio mensual	50 – 100	50 - 5 000	> 5 000
Turbiedad – UTN	0 - 10	10 - 250	> 250
Color – UPt-Co	0 - 20	20 - 150	> 150
Oxígeno disuelto (OD) Promedio mg/L	4.0 – 7.5	4.0 – 6.5	4.0
Saturación	> 75	> 60	-
pH promedio	6.0 – 8.5	5.0 – 9.0	3.8 – 10.5
Cloruros, mg/L máx	< 50	50 - 250	> 250
Fluoruros, mg/L	< 1.5	1.5 – 3.0	> 3.0
Fenoles, mg/L máx.	0	0.005	> 0.005

### 1.2.2. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Uno de los parámetros que permite evaluar la salinización de aguas subterráneas son los sólidos disueltos totales (SDT). De acuerdo a su concentración las aguas subterráneas se clasifican en dulces (< 1 000 mg/L), ligeramente salobres (1 000 a 2 000 mg/L), salobres (2 000 a 10 000 mg/L) y salinas (> 10 000 mg/L). Otros parámetros para determinar la calidad del agua subterránea son los contaminantes específicos, tales como arsénico, flúor, hierro y manganeso.

En la ilustración 1.6 se muestra la sobreexplotación de acuíferos según *Estadísticas del agua 2012* de Conagua. Se puede observar una importante sobreexplotación, sobre todo en la zona centro y norte del país.

### 1.2.3. RELACIÓN TRATAMIENTO/ CALIDAD DEL AGUA

Como se dijo anteriormente, la calidad del agua de abastecimiento cambia de manera importante de una fuente a otra. Por ello, el tipo de tratamiento requerido para producir agua potable también varía. Dependiendo de la problemática de la calidad del agua de abastecimiento es el grado de complejidad del tratamiento.

El diseño de una planta de potabilización eficiente y económica requiere de un estudio de ingeniería cuidadoso. Dicho estudio debe basarse en la calidad de la fuente y de la selección apropiada de los procesos y operaciones de tratamiento más adecuados y económicos para producir agua con la calidad requerida. Se han

formulado criterios generales de tratamiento del agua de abastecimiento según la calidad de la fuente, los cuales pueden servir como guía. En la tabla 1.10 se muestran algunos de estos requisitos y criterios generales para elegir el tren de tratamiento más adecuado.

## 1.3. MARCO NORMATIVO

En México, como en otros países, las leyes y reglamentos existentes en materia de agua potable confieren atribuciones y funciones a diversas dependencias gubernamentales, ya sea como encargados de la prestación de este servicio o bien de su vigilancia. Estos ordenamientos jurídicos enmarcan los lineamientos requeridos en forma clara y precisa hasta converger en la acción concreta de asegurar y certificar la calidad del agua para uso y consumo humano.

En la misma legislación se indican los puntos en los cuales convergen la federación, los estados y los municipios. También se establecen las atribuciones y alcances de las entidades federativas así como las obligaciones que tiene cada uno de los involucrados en el abastecimiento de agua para uso y consumo humano en calidad y cantidad adecuadas (IMTA, 2007).

Así, las instituciones líder son la Secretaría de Salud (SSA) y la Conagua. La primera, en lo concerniente a la emisión y vigilancia de las normas relacionadas con la calidad del agua y de los servicios de agua potable. La segunda, en lo referente a la explotación, aprovechamiento y usos del agua. Ambas instituciones en coordinación deben llevar a cabo la vigilancia del cumplimiento de la normativa.

Principales normativas que regulan los sistemas de abastecimiento y distribución de agua potable:

- Modificación a la NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad de agua y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Publicada el 18 de enero de 1996 y modificada el 22 de noviembre de 2000
- NOM-179-SSA-1998. Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por los sistemas de abastecimiento público. Publicada el 24 de septiembre de 2001
- NOM-230-SSA1-2002. Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo. Publicada el 12 de julio de 2005.

# 2

## UNIDADES DE PROCESO QUE CONFORMAN LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA

### 2.1. CONCEPTOS BÁSICOS

Los procesos de potabilización se integran con operaciones y procesos unitarios. En las operaciones unitarias la remoción de los contaminantes se realiza por fuerzas físicas. En los procesos unitarios el tratamiento se realiza con reacciones químicas y biológicas.

El conjunto de operaciones unitarias y procesos unitarios es conocido como *tren de tratamiento* o *tren de proceso*. Las consideraciones que se deben tomar en cuenta para seleccionar un *tren de tratamiento* dependen de las características de calidad del agua de abastecimiento. Entre éstas podemos encontrar: las variaciones en el tiempo, los límites permisibles en la normativa vigente, las condiciones del sitio para construcción de la planta, la tecnología disponible, la economía del proceso y muchos otros factores.

El objetivo es remover componentes indeseables en el agua de la fuente de abastecimiento, pero también disponer adecuadamente de los residuos de la planta potabilizadora (AWWA, 2012).

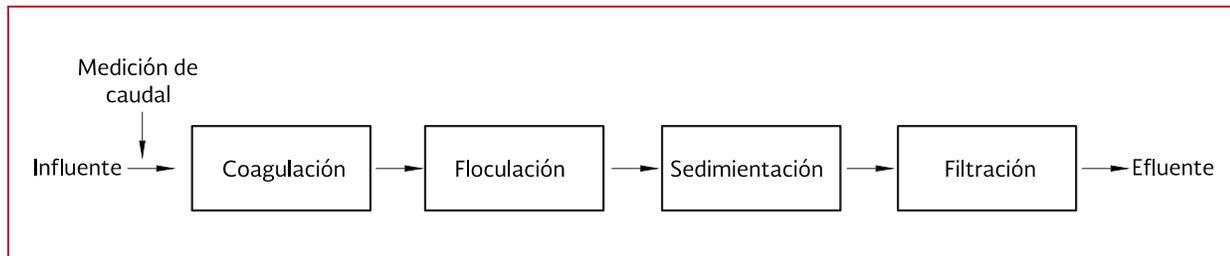
Los factores básicos que influyen en la selección de los procesos de tratamiento son:

- a) Especificaciones del agua tratada
- b) Calidad del agua de abastecimiento y sus variaciones
- c) Condiciones económicas y sociales particulares
- d) Costos relativos de los diferentes procesos de tratamiento, referentes a la inversión, operación y mantenimiento

La selección de los procesos estará influenciada primordialmente por los requisitos del efluente y la calidad del agua cruda y será facilitada por investigaciones de campo y pruebas de laboratorio. En caso de requerirse coagulación química se deben realizar pruebas de jarras para determinar gradientes de velocidad, pH óptimo, el tipo de coagulantes y rangos de dosificación y la conveniencia de usar coadyuvantes. En plantas de gran magnitud será conveniente realizar pruebas en plantas piloto. Tales plantas deben incluir modelos para determinar los parámetros de diseño y del tipo de granulometría de los materiales filtrantes (Kawamura, 2000).

En la ilustración 2.1 se puede observar un tren general de potabilización de agua, con la finalidad de que sirva de referencia para los siguientes incisos en los que se describen las principales unidades de proceso.

Ilustración 2.1 Esquema ejemplo de tren de proceso de potabilización



### 2.1.1. MEDICIÓN DE CAUDALES

El monitoreo sistemático y preciso de caudales en cada proceso es básico para una operación eficiente de una planta potabilizadora. Además, medir caudales sirve para determinar gradientes de velocidad y tiempos de residencia en mezcla rápida y floculación. También sirve para una correcta dosificación de reactivos, determinación de velocidades de filtración y retrolavado, determinación de eficiencias de producción de agua (influyente vs efluente) y recirculación de agua de lavado de filtros, entre otros. Para la elección del medidor de caudal es recomendable tomar en cuenta los siguientes aspectos: que sea fácil de leer (lectura

directa), que registre las mediciones, que sea fácil de instalar, hidráulicamente eficiente, preciso y resistente al uso. Es por esto que, para elegir un medidor de caudal, es necesario valorar el costo y presupuesto, el tipo de conducción, la accesibilidad, la exactitud, las características del flujo y la carga hidráulica disponible (IMTA, 2011).

#### *Tipos de medidores de caudal*

Los medidores de caudal se pueden clasificar según el tipo de conducto donde se utilizarán, ya sea para canales (flujo a superficie libre) o para tuberías (flujo a presión). En la tabla 2.1 se muestran algunos tipos de medidores de caudal.

Tabla 2.1 Tipos de medidores de caudal (IMTA, 2007)

Medidores de caudal en flujo a superficie libre y conductos a presión				
Descripción	Cualquier obstrucción sobre la cual pase el flujo; aberturas o cortes de formas geométricas definidas			
Ventajas	Muy precisos en la medición de flujos en canales abiertos. Se utilizan para control hidráulico, son simples y económicos.			
Limitaciones	No deben ser utilizados en flujos con sólidos sedimentables. Se pierde mucha carga y cuando hay poca pendiente en el canal no funcionan.			
Tipo de medidor	Descripción	Subtipo	Ecuación	Imagen
Rectangulares		Sin contracción: consisten en una cresta recta horizontal del tamaño del canal	<p>Ecuación de Francis</p> $Q = KLH^{1.5}$ <p><math>Q =</math> Gasto (<math>m^3/s</math>)  <math>L =</math> Longitud del vertedor (m)  <math>H =</math> Carga hidráulica sobre el vertedor (m)  <math>K = 1.84</math> (valor de la constante en unidades del sistema métrico decimal)</p> <p>Se recomienda que el valor de <math>H_{máx}</math> no sea mayor a <math>L/2</math>.</p>	<p>Diagrama de un vertedor rectangular sin contracción. Muestra un canal con un vertedor de longitud <math>L</math> y una carga <math>H</math>. La longitud del vertedor es mayor o igual a <math>2H_{máx}</math>.</p>
	Abertura rectangular sobre la cual pasa un flujo.		<p><math>Q = K(L - 0.2H)H^{1.5}</math>  <math>Q =</math> Gasto a través del vertedor (<math>m^3/s</math>)  <math>L =</math> Longitud de la cresta (m)  <math>H =</math> Carga hidráulica sobre el vertedor (m)  <math>K = 1.84</math> (valor de la constante en unidades del sistema métrico decimal)</p> <p>En este caso se recomienda también que <math>H_{máx}</math> no sea mayor a <math>L/2</math>.</p>	<p>Diagrama de un vertedor rectangular con contracción. Muestra un canal con un vertedor de longitud <math>L</math> y una carga <math>H</math>. La longitud del vertedor es mayor o igual a <math>2H_{máx}</math>.</p>

Tabla 2.1 Distribución porcentual de sitios de monitoreo en cuerpos de agua superficiales por región hidrológica administrativa de acuerdo al indicador DBO<sub>5</sub> (CONAGUA, 2012) (continuación)

Medidores de caudal en flujo a superficie libre y conductos a presión			
Tipo de medidor	Descripción	Ecuación	Imagen
Triangulares	<p>Abertura triangular sobre la cual pasa un flujo. Son útiles para medir flujos de gastos inferiores a 30 L/s.</p>	<p><math>Q = KH^{2.5}</math></p> <p>Q = Gasto (m<sup>3</sup>/s)                      H = Carga hidráulica sobre el vertedor (m)                      K = Constante del vertedor según el ángulo de la abertura (2.5 para 90°)</p>	
Trapezoidal o Cipolletti	<p>Es similar al rectangular con contracciones, solo que los lados del vertedor son inclinados. Cuando la inclinación de los lados sigue la relación 1:4 (1 horizontal: 4 vertical) es conocido como Cipolletti</p>	<p><math>Q = KLH^{1.5}</math></p> <p>Q = Gasto (m<sup>3</sup>/s)                      L = Longitud de la cresta (m)                      H = Carga sobre el vertedor (m)                      K = 1.86 (valor de la constante en el sistema métrico decimal)</p>	

Tabla 2.1 Distribución porcentual de sitios de monitoreo en cuerpos de agua superficiales por Rregión hidrológica administrativa de acuerdo al indicador DBO<sub>5</sub> (CONAGUA, 2012) (continuación)

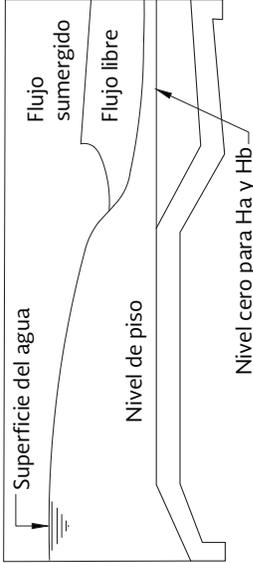
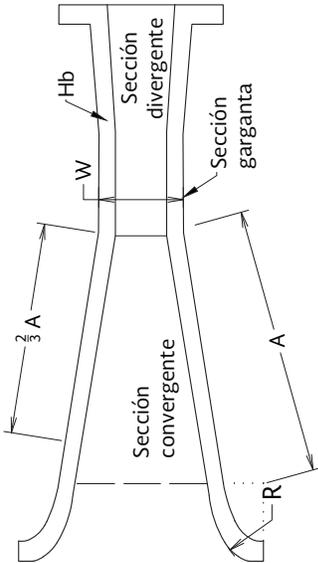
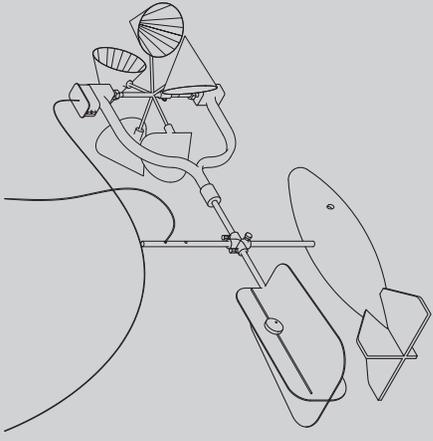
Medidores de caudal en flujo a superficie libre y conductos a presión			
Canal Parshall			
Ventajas	Capacidad de autolimpieza: tiene capacidad para operar en un amplio rango de gasto. Puede estimarse el gasto con buena precisión, ya que cuando trabaja ahogado, el error no pasa de 5% y cuando trabaja libremente el error es de 3%. La velocidad de llegada no influye en el cálculo del gasto.		
Limitaciones	Alto costo; dificultades de instalación.		
Tipo de medidor	Descripción	Ecuación	Imagen
	<p>Este medidor es una estructura de paredes verticales, constituido de tres partes: entrada, garganta y salida. La sección convergente o entrada acelera el flujo, siendo esto favorable para evitar que los sólidos se sedimenten. La garganta es una contracción en declive, de sección constante, que provoca una carga cuyo valor se relaciona con el gasto del fluido. La salida o sección divergente es la parte en la que el flujo empieza a disminuir su velocidad, presentando un régimen sensiblemente uniforme.</p> <p>Los canales Parshall se clasifican de acuerdo al ancho de la garganta <math>w</math>. Su construcción debe apegarse rigurosamente al dimensionamiento que se hace en función del ancho de garganta. De ello depende la precisión de la medición del gasto.</p>	<p>Grado de sumergencia</p> $S = H_b / H_a$ <p><math>H_a</math> = carga a la entrada del aforador antes de la garganta (a partir de la cresta) (<math>m^3/s</math>).  <math>H_b</math> = carga cerca del extremo final de la garganta (a partir de la cresta) (<math>m^3/s</math>).                      Este valor refleja cómo trabaja en ese momento el aforador.</p> <p>Cuando el medidor trabaja a descarga libre el gasto es función solo de la carga <math>H_a</math>. Si trabaja a descarga ahogada el gasto depende de la carga <math>H_a</math> y el grado de sumergencia.</p> <p>Para descarga libre, el gasto en <math>m^3/s</math> está dado por la ecuación general:</p> $Q = mH_a^s$ <p>Las constantes <math>m</math> y <math>s</math> también varían en función del ancho de garganta.</p>	 
Canal Parshall			

Tabla 2.1 Tipos de medidores de caudal (IMTA, 2007) (continuación)

<b>Medidores de caudal en flujo a superficie libre y conductos a presión</b>			
Molinete			
Ventajas	Este método es sencillo y puede aplicarse en canales en donde las velocidades varían desde 0.1 m/s hasta 2.5 m/s.		
Limitaciones	Los molinetes requieren mantenimiento debido al desgaste y a golpes durante su uso. Deben calibrarse por personal especializado para obtener la nueva ecuación y la tabla de calibración correspondiente.		
Tipo de medidor	Descripción	Ecuación	Imagen
	<p>El método de aforo con molinete es muy conocido y se emplea como método patrón para calibrar otros medidores.</p> <p>Se forma esencialmente de una hélice de aspas o copas que giran con el movimiento del agua y de un mecanismo que permite contar el número de vueltas que da la hélice a intervalos de tiempo definido.</p>	<p>Se determina la relación velocidad - número de revoluciones- obteniéndose una ecuación y una tabla de calibración, de las cuales debe disponer cada molinete para poder hacer la determinación del gasto.</p> <p>Price 622: <math>v = 0.68279N + 0.011333</math></p> <p>Donde N= Número de revoluciones por segundo.</p> <p>v = Velocidad de la corriente</p> <p>* (IMTA-SARH, 1992)</p>	
<b>Medidores en Tuberías</b>			
<b>Percepción por velocidad</b>			
Hidrómetro de velocidad			
Descripción	Estos medidores están constituidos básicamente por una turbina, mecanismos para transmisión de las revoluciones de la hélice, visor con indicador y totalizador o con un indicador-totalizador graficador y el cuerpo del medidor. La transmisión de las revoluciones de la hélice para el mecanismo totalizador se procesa magnéticamente por la presencia de electroimanes, y se forman así campos magnéticos que emiten impulsos capaces de accionar el mecanismo totalizador.		
Ventajas	Para grandes tamaños de diámetro, la repetibilidad es excelente y pueden ser muy exactos si se calibran periódicamente. La pérdida de carga es moderada, disminuyendo con tamaños más grandes. La dimensión del medidor es la misma que el diámetro de la tubería en donde se va a instalar.		
Limitaciones	Requieren un mantenimiento sistemático en sus partes mecánicas y lubricación. Son caros, en especial para diámetros grandes y el factor de calibración es sensible a la viscosidad del fluido		

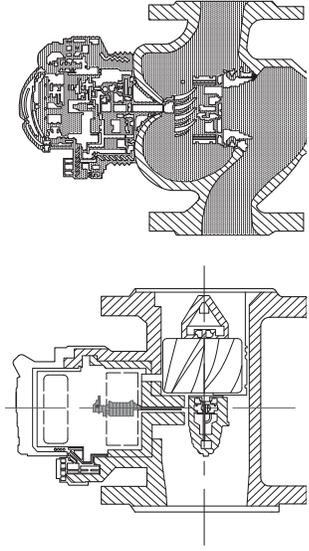


Tabla 2.1 Tipos de medidores de caudal (IMTA, 2007) (continuación)

<b>Medidores de caudal en flujo a superficie libre y conductos a presión</b>	
Medidor de vórtice	
Descripción	<p>Está constituido de un tubo de acero inoxidable de longitud corta, que circunda un cuerpo obtuso de sección transversal triangular modificada; éste se sitúa perpendicularmente al flujo. Dicho cuerpo obstruye el paso del líquido y lo obliga a formar dos corrientes de flujo turbulento que generan vórtices. La frecuencia de la generación de los vórtices es linealmente proporcional a la velocidad del flujo. Esto a su vez crea una variación de la presión, a uno y otro lado del cuerpo que obstruye el paso del líquido.</p>
Ventajas	<p>No tiene piezas móviles; produce pocas pérdidas de carga; no es necesario interrumpir el caudal para darle mantenimiento; tiene vida útil larga.</p>
Limitaciones	<p>Su costo es elevado si se instala en diámetros pequeños; requiere de energía eléctrica para el funcionamiento del sensor electrónico; necesita un número de Reynolds de 30 000, pudiéndose considerar como aceptable un rango entre 10 000 y 30 000. Aunque los resultados son menos exactos; le afectan las vibraciones en la tubería y burbujas en la corriente.</p>
<b>Percepción por diferencia de presión</b>	
<b>Tubo Pitot</b>	
Ventajas	<p>Puede quitarse sin que deje de pasar el líquido. Produce poca pérdida de carga; su costo es bajo y se instala fácilmente. Además tiene larga vida útil.</p>
Limitaciones	<p>La principal desventaja es que pueden existir errores de calibración si el tubo está mal insertado en la tubería (desalineado).</p>
Descripción	<p>Este medidor consiste en un tubo que se coloca dentro de la tubería, en forma perpendicular al flujo del líquido. Este tubo presenta varios orificios en la parte que queda frente al flujo, de tal forma que permite medir diferentes presiones a lo largo del diámetro de la tubería. Las diferentes presiones son detectadas por el tubo interno, el cual proporciona la presión media en la sección transversal de la corriente.</p>
Ecuación	<p><math>v = c\sqrt{2gh(\delta - 1)}</math></p> <p>v = Velocidad del agua (m/s)</p> <p><math>\gamma</math> = Densidad relativa del líquido manométrico, que equivale a <math>\gamma_m / \gamma</math> siendo <math>\gamma_m</math> el peso específico del líquido manométrico y <math>\gamma</math> el peso específico del agua.</p> <p>g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)</p> <p>h = Deflexión del líquido manométrico (m)</p> <p>c = Constante de calibración que provee el fabricante</p> <p><b>Q = Av</b>      <b>Q = Gasto (m<sup>3</sup>/s)</b></p> <p>A = Área interna de la tubería (m<sup>2</sup>)</p> <p>v = Velocidad calculada con la Ec. anterior</p>
Imagen	

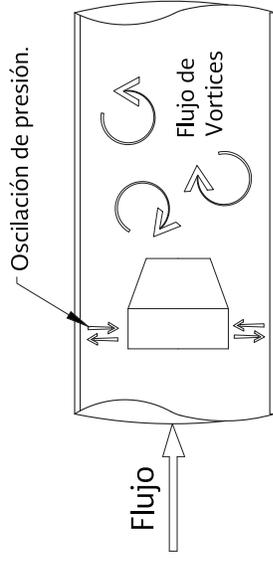


Tabla 2.1 Tipos de medidores de caudal (IMTA, 2007) (continuación)

Medidores de caudal en flujo a superficie libre y conductos a presión			
Medidores deprimógenos	Descripción	Ecuación	Imagen
Tipo Venturi	<p>Los medidores deprimógenos son medidores de caudal relativamente simples. Consisten básicamente en una reducción gradual o brusca de la sección del flujo, lo que ocasiona un aumento de velocidad y una disminución de la presión en el fluido. De la correlación de la variación de presión con la velocidad es posible cuantificar el caudal.</p> <p>En el medidor tipo Venturi la diferencia de presión que existe entre un punto aguas arriba de la garganta y la garganta, es proporcional al cuadrado del flujo. Por ello el gasto se determina de la raíz cuadrada del diferencial de presión medido entre ambos puntos.</p>	$Q = Cq A_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$ <p> <math>Q</math> = Caudal en m<sup>3</sup>/s  <math>A_2</math> = Área de la sección mínima, garganta (m<sup>2</sup>)  <math>g</math> = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)  <math>h_1</math> y <math>h_2</math> = Alturas piezométricas en los puntos 1 y 2  <math>Cq</math> = Valor que depende del número de Reynolds                 </p>	
Tipo Tobera	<p>El diseño típico de los medidores tipo tobera es una entrada cónica y garganta, como en un tubo Venturi, pero carece de cono de recuperación. Puede ser instalado en tuberías bridas y son más económicos que los tubos Venturi, aunque más costosos que los medidores de orificio.</p>	<p>Misma ecuación que el Venturi:</p> $Q = Cq A_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$ <p> <math>Q</math> = caudal en m<sup>3</sup>/s  <math>A_2</math> = Área de la sección mínima, garganta (m<sup>2</sup>)  <math>g</math> = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)  <math>h_1</math> y <math>h_2</math> = Alturas piezométricas en los puntos 1 y 2  <math>Cq</math> = Valor que depende del número de Reynolds                 </p>	
Medidor de orificio	<p>El medidor de orificio de placa delgada es el dispositivo más usado para la medición de flujos en tuberías. El orificio es una perforación circular en una placa delgada y plana que se coloca perpendicularmente al flujo. Se fija entre un par de bridas de la tubería. Su diferencia de presión se debe a la combinación de velocidad alta, pérdida de fricción y líneas de corriente aceleradas.</p>	$Q = CA \sqrt{2gh} / 1000$ <p> <math>Q</math> = Gasto (L/s)  <math>C</math> = Coeficiente de descarga  <math>A</math> = Área del orificio (cm<sup>2</sup>)  <math>g</math> = Aceleración de la gravedad (981 cm/s<sup>2</sup>)  <math>h</math> = Carga sobre el orificio (cm)                 </p>	

Tabla 2.1 Tipos de medidores de caudal (IMTA, 2007) (continuación)

**Medidores de caudal en flujo a superficie libre y conductos a presión**

Percepción ultrasónica

El principio del funcionamiento de estos medidores tiene su origen en las aplicaciones de la acústica, y de éstas, específicamente la relacionada con el sonar.  
 Dentro de los medidores ultrasónicos, se encuentran:  
 a) El medidor ultrasónico de velocidad por tiempo de tránsito. Éste es un medidor sin obstrucciones. Consiste en dos transductores ultrasónicos que son capaces de enviar y recibir pulsos de presión ultrasónicos. Se mide el tiempo de tránsito del pulso, tanto de ida como de vuelta. La velocidad promedio es proporcional a la diferencia entre estos dos tiempos.  
 b) El medidor ultrasónico Doppler es similar al anterior, pero sólo puede ser empleado en fluidos que contengan sólidos suspendidos o burbujas de aire, por lo que no se emplea para agua potable

Ventajas	Como no presenta obstrucción al flujo, no hay pérdida de carga; no tiene partes mecánicas móviles. Bajos costos de instalación y operación
Limitaciones	Son sensibles al cambio de la composición del fluido; un alto contenido de sólidos o de burbujas pueden distorsionar o bloquear la propagación de las ondas de sonido. Su funcionamiento se ve afectado por cambios en el flujo aguas arriba y aguas abajo.

Percepción magnética

En un medidor magnético se genera un campo alrededor de un tramo aislado de tubería. El agua que pasa por el campo magnético induce una pequeña corriente que es proporcional a la velocidad del líquido. Esta corriente eléctrica se mide y es convertida al caudal del flujo. La exactitud del medidor es de  $\pm 0.5\%$  del caudal real

No obstruye el flujo; hay una mínima pérdida de carga. Está disponible en un amplio rango de diámetros (2.5 mm a 5 m). Son bidireccionales, por lo que pueden medir caudales en dirección contraria.  
 Las variaciones en la densidad, viscosidad, presión y temperatura del fluido, no afectan su funcionamiento.

Para tuberías muy pequeñas los medidores son caros; es sensible a la geometría y propiedades eléctricas de la tubería y del campo magnético.

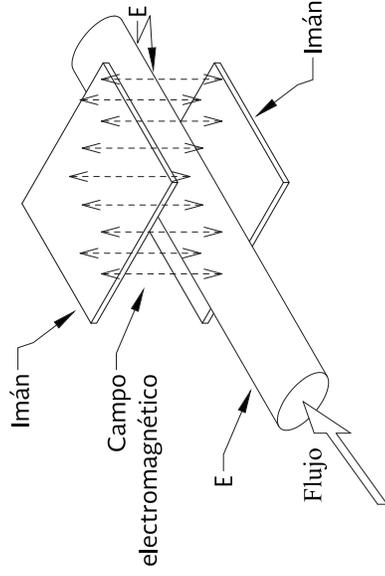
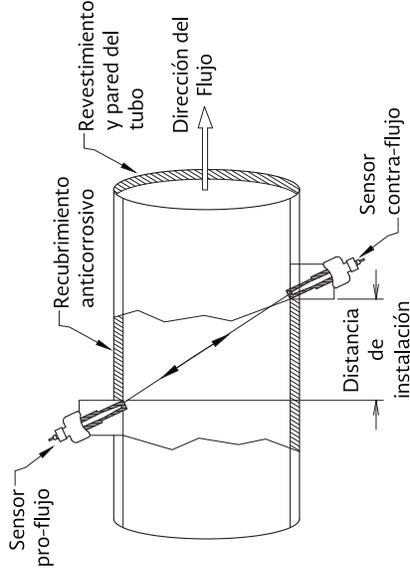


Tabla 2.1 Tipos de medidores de caudal (IMTA, 2007) (continuación)

<b>Medidores de caudal en flujo a superficie libre y conductos a presión</b>		
<b>Alternativos Trazadores</b>	Descripción	Ecuación
	<p>Sustancias cuya presencia puede detectarse por la variación de algún parámetro. El más utilizado es el cloruro de sodio o sal común, previamente disuelta en agua. Esta sustancia se vierte en un punto determinado de un canal y se determina la variación de la conductividad eléctrica en el agua con el tiempo al final del mismo.</p>	$Q = V / t$ <p>V = Volumen que se estima multiplicando el área longitudinal (largo x ancho) por el tirante de agua (m<sup>3</sup>)                      t = Tiempo en que se presentó el pico en el valor de la conductividad eléctrica (tiempo de recorrido)</p>
Limitaciones	Se debe cuidar que el flujo en el canal no sea turbulento, ni existan estructuras que modifiquen la dirección del flujo en el tramo de medición. Para tener una precisión aceptable en la medición, el largo del canal debe ser tal que el tiempo de residencia del trazador no sea inferior a dos minutos.	
<b>Volumen/tiempo</b>		
	<p>Se considera el tiempo de llenado de los tanques de almacenamiento. Se deben determinar las dimensiones internas del tanque seleccionado, así como el tiempo que tarda el agua en pasar de un nivel conocido a otro.</p>	$V = A \Delta h$ <p>V = Volumen del tanque (m<sup>3</sup>)                      A = Área interna del tanque (m<sup>2</sup>)                      Δh = incremento en el nivel del agua en el tanque (m)</p> $Q = V / t$ <p>Q = Gasto (m<sup>3</sup>/s)                      V = Volumen del tanque (m<sup>3</sup>)                      t = Tiempo transcurrido durante el cambio del nivel del agua en el tanque.</p>

## 2.1.2. COAGULACIÓN

El agua puede contener gran variedad de impurezas solubles e insolubles. Entre estas últimas destacan las partículas coloidales, las sustancias húmicas y los microorganismos en general. Tales impurezas coloidales presentan una carga superficial negativa. Lo anterior impide que las partículas se aproximen unas a otras y las lleva a permanecer en un medio que favorece su estabilidad. Para que estas impurezas puedan ser removidas, es preciso alterar algunas características del agua, a través de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación (o flotación) y filtración (AWWA, 2012).

La coagulación se lleva a cabo generalmente con la adición y mezcla de productos químicos coagulantes, por lo general sales de aluminio y hierro. Este proceso es el resultado de dos fenómenos. El primero, esencialmente químico, consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva.

El segundo, fundamentalmente físico, consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua. Es un proceso muy rápido que puede tomar décimas de segundo o mucho más tiempo, de acuerdo con las demás características del agua: pH, temperatura, cantidad de partículas, etc. Se lleva a cabo en una unidad de tratamiento denominada *mezcla rápida o de coagulación*. De allí en adelante, se necesitará una agitación relativamente lenta, la cual se realiza dentro del floculador. En esta unidad las partículas chocarán entre sí, se aglomerarán y formarán otras mayores denominadas flóculos. Éstas pueden ser removidas con mayor eficiencia por los procesos de sedimentación, flotación o filtración.

En general podemos decir que los coagulantes son aquellos compuestos químicos de hierro o aluminio capaces de formar flóculos y que pueden efectuar coagulación al ser añadidos al agua. En la tabla 2.2 se describen algunos coagulantes y sus ecuaciones de reacción.

Tabla 2.2 Tipos de coagulantes y reacción química (IMTA, 2007)

Coagulante		
Sulfato de aluminio (alumbre)	Descripción	El sulfato de aluminio es el coagulante estándar usado en tratamiento de aguas. El producto comercial tiene usualmente la fórmula $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ con masa molecular de 600. El material es empacado en diversas formas: en polvo, molido, en terrones, en granos parecidos al arroz y en forma líquida. La dosis de alumbre varía normalmente entre 5 a 50 mg/L para aguas naturales. Comúnmente el pH efectivo para coagulación con alumbre es de 5.5 a 8.0 y se prefiere para tratar aguas superficiales de buena calidad por ser el único químico necesario para la coagulación, aunque puede requerirse el ajuste de la alcalinidad.
	Ecuación	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O + 3Ca(OH)_2 \rightarrow 2Al(OH)_3 \downarrow + 3CaSO_4 + 14H_2O$ $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O + 3Na_2CO_3 + 3H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3 \downarrow + 3Na_2SO_4 + 3CO_2 + 14H_2O$
Cloruro férrico	Descripción	El cloruro férrico reacciona con la alcalinidad del agua o con cal para formar flóculo de hidróxido férrico. El cloruro férrico comercial se consigue en forma líquida o cristalina. Aunque es barato, su manejo es difícil debido a su alta agresividad y debe utilizarse con equipo resistente a la corrosión. Es más usado en tratamiento de aguas residuales que en aguas para consumo; puede dar color al agua.
	Ecuación	$2FeCl_3 + 3Ca(HCO_3)_2 \rightarrow 2Fe(OH)_3 \downarrow + 3CaCl_2 + 6CO_2$ $2FeCl_3 + 3Ca(OH)_2 \rightarrow 2Fe(OH)_3 \downarrow + 3CaCl_2$

### *Mezcla rápida*

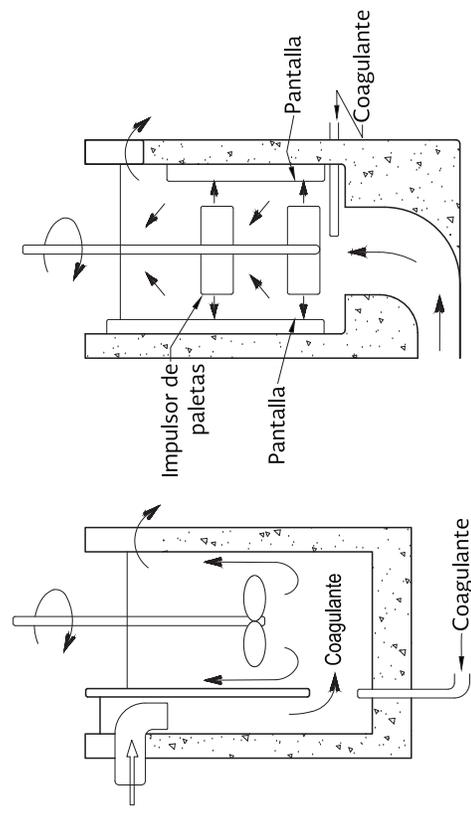
La mezcla rápida es una operación empleada en el tratamiento del agua con el fin de dispersar sustancias químicas que se adicionan al agua en el proceso. En plantas de potabilización de agua, el mezclador rápido tiene generalmente el propósito de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua.

La mezcla rápida puede efectuarse mediante turbulencia provocada por medios hidráulicos o mecánicos, tales como: resaltos hidráulicos en canales, canaletas *Parshall*, vertedores, mezcladores mecánicos en línea, entre otros y va a depender del gradiente y el tiempo de retención (Arboleda, 2000).

Algunos tipos de mezcladores se muestran en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Tipos de Mezcladores (IMTA, 2007)

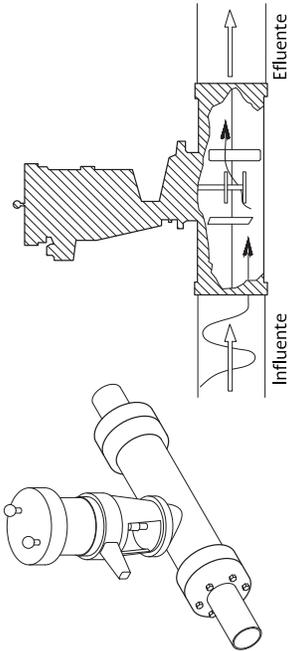
Mecánicos		
Tipo de Mezclador	Descripción	Imagen
Vertedor	<p>Los vertedores pueden usarse para medir caudal y para producir mezcla rápida debido a la turbulencia del resalto hidráulico que la lámina de agua produce en el punto de impacto. Los coagulantes deben aplicarse en el punto de impacto I y no en el punto A para estimular la dispersión.</p>	



La mezcla es inducida a través de impulsores rotatorios del tipo de hélice o de paleta. Los de hélice, semejantes a hélices de barco, generan corrientes axiales fuertes que crean gran intensidad de mezcla y se han usado para mezcla de alta velocidad con rotaciones de hasta 2 000 RPM. Los impulsores de paletas generan principalmente corrientes radiales y tangenciales y son más usados en floculación con velocidades rotacionales bajas, 2 -150 RPM, debido a la mayor área expuesta al agua.

De hélice o de paleta

Tabla 2.3 Tipos de Mezcladores (IMTA, 2007) (continuación)

Tipo de Mezclador	Descripción	Imagen
En línea mecánico	Este tipo de agitador puede reemplazar a los grandes mezcladores y a los tanques retromezcladores debido a que proporciona una agitación casi instantánea. Mezcla o dispersa en un volumen muy pequeño y con un bajo consumo de energía.	
<b>Hidráulicos</b>		
Resalto hidráulico	<p>En este tipo de mezcladores la potencia es función de la forma del mezclador y de las características del flujo y hace que las condiciones de mezcla sean difíciles de controlar por el operador de la planta.</p>	<p>En los canales Parshall, en los vertedores y en los canales con cambio de pendiente, la turbulencia que ocasiona la mezcla es producida por la generación de un resalto hidráulico. Su principal desventaja es que el grado de turbulencia es función del gasto de la planta y es difícil controlar el mezclado.</p>
Estáticos en línea	<p>Estas unidades están constituidas por barras, perfiles o láminas corrugadas que se hallan instaladas dentro de una tubería. Forman una rejilla alargada y continua que produce una gran intensidad de turbulencia en una longitud deseada. Esto origina una mezcla de alta eficiencia.</p>	<p>En este tipo de mezcladores la energía necesaria para la mezcla se consigue mediante una serie de chorros que producen un flujo turbulento en la tubería de conducción de agua. El coagulante u otros productos químicos son adicionados a la corriente inyectándolos a través de orificios en un tubo interno en la tubería principal.</p>

### 2.1.3. FLOCULACIÓN

La floculación es la etapa siguiente a la coagulación. Es un proceso físico en el que pequeñas partículas desestabilizadas durante la coagulación se unen para formar partículas más grandes llamadas floculos. Mediante agitación lenta -mecánica o hidráulica- se favorecen los contactos o colisiones entre las partículas suspendidas, necesarios para su aglomeración y consolidación como floculos (OPS/CEPIS, 2004). La colisión entre partículas suspendidas ocurre por tres mecanismos de transporte:

1. Floculación pericinética o difusión Browniana debida a la energía térmica del fluido
2. Floculación ortocinética o gradiente de velocidad, producida por la masa de agua en movimiento
3. Sedimentación diferencial, debida a la colisión de partículas grandes con las más pequeñas, cuando las primeras precipitan lentamente y aglomeran a las segundas

Los factores que influyen en la floculación según OPS/CEPIS (2004) son:

- La naturaleza del agua
- Las variaciones de caudal
- La intensidad de la agitación
- El tiempo de floculación
- El número de compartimentos de la unidad

#### Tipos de Floculadores

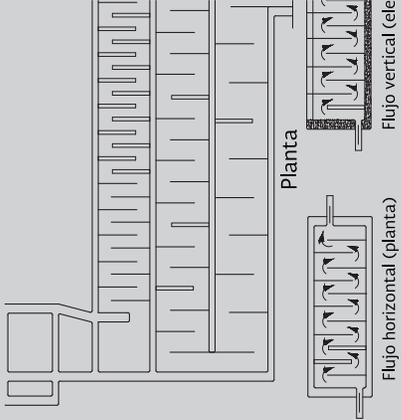
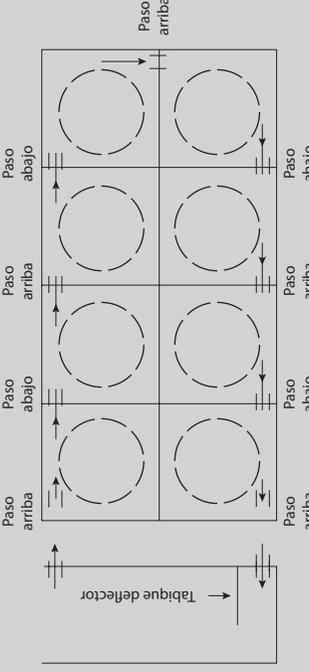
De acuerdo al modo en como se aglomeran las partículas, los floculadores se clasifican en:

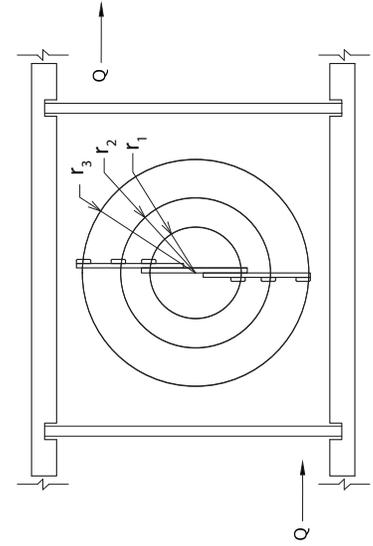
- Floculadores de contacto de sólidos o manto de lodos
- Floculadores de potencia o de disipación de energía

Ambos pueden ser hidráulicos o mecánicos.

En la tabla 2.4 se presentan diferentes tipos de floculadores.

Tabla 2.4 Tipos de Floculadores (IMTA, 2007)

Tipo de floculador	Descripción	Imagen
Floculador hidráulico	<p>Los floculadores hidráulicos más utilizados son los de pantallas de flujo horizontal o de flujo vertical. En los primeros, el agua circula con un movimiento de vaivén y, en los segundos, la corriente sube y baja sucesivamente, contorneando las diversas pantallas.</p> <p>Es conveniente dividir el tanque de floculación en tres o más cámaras utilizando pantallas (formando laberintos) con el propósito de prevenir cortocircuitos y reducir gradualmente la energía. Los floculadores de pantallas de flujo horizontal son los más recomendables para caudales menores a 100 L/s, en tanto que los de flujo vertical lo son para mayores caudales. Los floculadores de flujo horizontal se proyectan para profundidades de 1.5 a 2.0 m, mientras que los verticales para 3.0 a 4.0 m.</p>	
	<p>Un floculador menos utilizado es el de flujo helicoidal que consiste en unaserie de cámaras (más de seis y preferiblemente ocho a doce) en las cuales el agua entra por el fondo en la esquina de la cámara y sale por encima de en la esquina opuesta, de modo que se induce un movimiento rotacional del agua que crea un vórtice amplio, cuyo centro se desplaza frecuentemente de un lugar a otro propiciado así el desarrollo de vórtices menores. La colocación de las aberturas (altas y bajas) en la misma cámara deben hacerse en forma cuidadosa para evitar cortocircuitos entre éstas y para asegurar que se adquiera el movimiento rotatorio.</p>	



Los floculadores mecánicos utilizan una fuente externa de energía, como un motor eléctrico con velocidad ajustable que le da flexibilidad para variar el gradiente de velocidad. Dependiendo del sentido de movimiento, se distinguen en giratorios y alternativos. Los primeros utilizan paletas que operan a bajas velocidades o propelas y turbinas que giran a mayores velocidades. Los alternativos, tienen paletas con movimiento oscilantes (suben y bajan), con velocidad angular constante o de función senooidal. Trabajan por etapas en cámaras con gradientes cuyo valor va decreciendo. Los floculadores mecánicos más utilizados son los de movimiento giratorio de paletas paralelas o perpendiculares al eje; este último es más ventajoso porque evita cadenas de transmisión y pozos secos para la instalación de los motores, aunque es de mantenimiento difícil.

Floculador mecánico

#### 2.1.4. SEDIMENTACIÓN

La sedimentación es la separación de partículas sólidas suspendidas en una corriente de líquido mediante su asentamiento por gravedad. El proceso de sedimentación tiene dos objetivos: la clarificación y el espesamiento. La finalidad primordial de la clarificación es remover las partículas finas suspendidas y producir un efluente claro, mientras que la del espesamiento es incrementar la concentración de sólidos suspendidos en una corriente de alimentación. Estas funciones están relacionadas y la terminología sólo establece una distinción entre los resultados que se desean del proceso. Se consideran sólidos sedimentables a las partículas que por su tamaño y peso sedimentan en una hora. Generalmente, la cantidad de sólidos sedimentables se expresa en mililitros de sólido por litro de agua pero también se da en partes por millón, en peso (Arboleda, 2000).

Sin embargo, las suspensiones presentan características sedimentables distintas según la concentración de sólidos y las características de las partículas. El desarrollo y aplicación de la sedimentación para la clarificación de un agua debe estar basada en el entendimiento del proceso y de las variables que pueden modificar su eficiencia. Los sólidos pueden estar contenidos en el agua en forma disuelta, flotando o en suspensión. Se le da el nombre de sedimentador a la estructura que reduce la velocidad del agua para que pue-

dan sedimentar los sólidos. En las plantas de tratamiento son rectangulares o circulares, con o sin dispositivos mecánicos para la recolección de lodos. Pueden ser también cuadrados, pero son menos frecuentes.

La selección del tipo de tanque para una aplicación dada depende del tamaño de la instalación, de las disposiciones y reglamentos de los organismos locales de control, de las condiciones locales del terreno y de la estimación de los costos, entre otros. Se recomienda disponer de dos o más tanques con objeto de que el proceso permanezca en funcionamiento mientras uno de ellos esté fuera de servicio por reparación y mantenimiento. En plantas grandes, el número de tanques viene determinado principalmente por las limitaciones del tamaño. La profundidad común de los tanques de sedimentación varía entre 2 y 4 m. La longitud recomendable de los tanques rectangulares no debe exceder los 75 m. El ancho del tanque es a menudo controlado por el equipo disponible de recolección y eliminación de lodos, pero se recomienda que no sea mayor de 16 m. Las proporciones longitud:ancho empleadas en el diseño varían entre 3:1 y 6:1. Las pendientes del fondo pueden ser del 1 por ciento para tanques rectangulares y de 7-8 por ciento para tanques circulares. El tiempo de residencia varía desde menos de una hora hasta más de un día y los tanques que se limpian mecánicamente se diseñan para un tiempo de residencia de 3 horas (Arboleda, 2000).

Tabla 2.5 Tipos de Sedimentadores (IMTA, 2007).

Tipo de sedimentador	Descripción
Unidades de flujo horizontal	<p>Los sedimentadores de flujo horizontal pueden ser rectangulares, circulares y cuadrados. Tanto los cuadrados como los circulares disponen normalmente de una zona de entrada ubicada en el centro del sedimentador, con una mampara que desvía el agua hacia el fondo de la unidad. El agua clarificada se recolecta a través de canaletas en la parte superior de los tanques. El fondo es inclinado hacia el centro de la unidad, en donde se ubica una tolva para la recolección continua o intermitente de los lodos. Estas unidades trabajan normalmente con los siguientes parámetros operacionales: turbiedades mayores a 30 UTN, carga superficial de 30 a 40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> d y tiempos de residencia de 1 a 4 horas.</p>
Tanques rectangulares	<p>Los tanques rectangulares se emplean en la clarificación y presentan limitaciones en la remoción de sólidos, a menos que se realicen diseños especiales para una eliminación más rápida que con los diseños estándar. Pueden ser implementados como una sola unidad o varias con una pared común entre todas ellas, lo que requiere de un área disponible menor. Las relaciones geométricas comunes para las unidades rectangulares son: longitud:ancho 3:1 o más, ancho:profundidad 1:1 a 2:25:1. Las profundidades típicas cuando se emplean estos tanques son de 2.4 a 3 m.</p>
Tanques circulares	<p>En este tipo de tanque el modelo de flujo es radial. Para generar este modelo, el agua se introduce por el centro o por la periferia del tanque. Los diámetros de las unidades circulares varían en un amplio rango (3 a 60 m). La profundidad del agua en el tanque es de 2 a 3 m, también pueden tener alturas hasta 4 m o más. La pendiente del piso más común para un sedimentador, con mecanismo de rastras es de 1:12. Cuando se usa el tanque como espesador las pendientes son de 2:12 o más. En el centro del tanque, la profundidad es mayor ya que se trata de un depósito para la compactación de los lodos.</p>

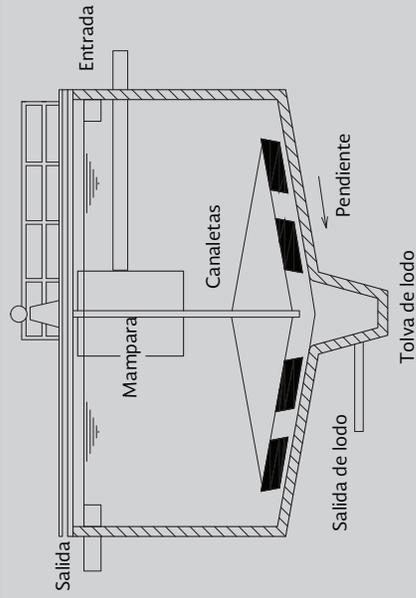
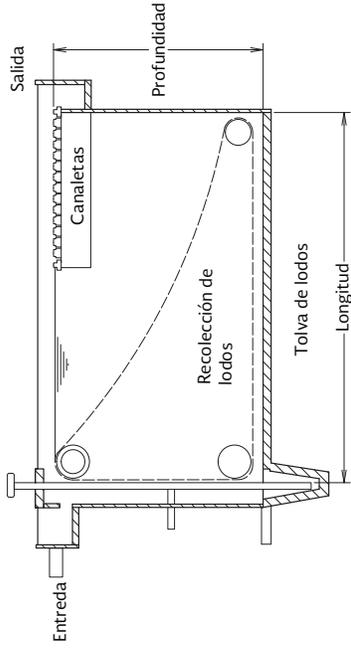
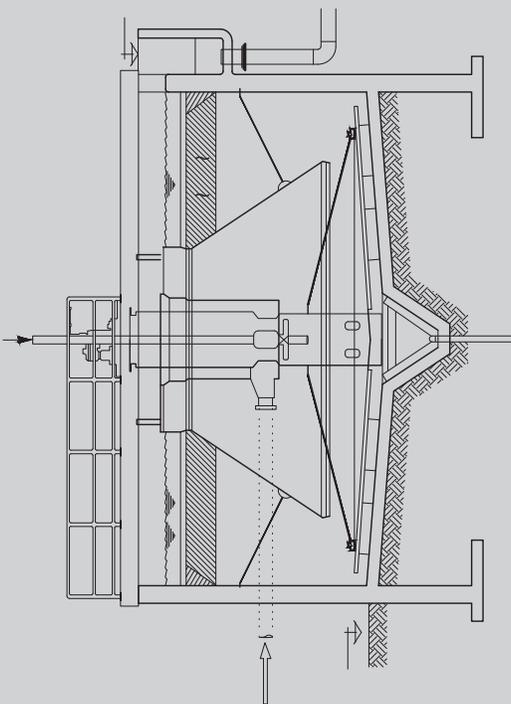
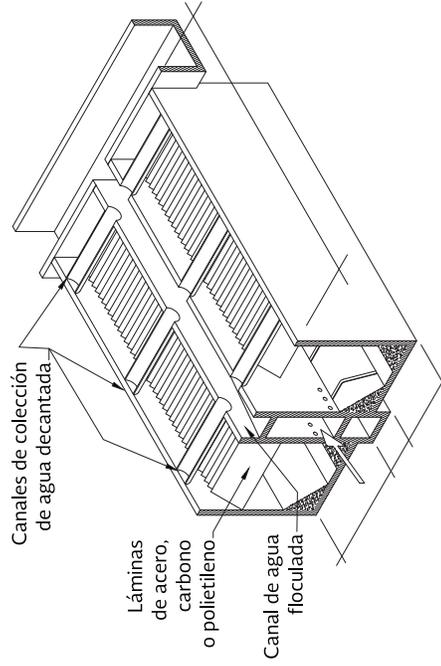


Tabla 2.5 Tipos de Sedimentadores (IMTA, 2007) (continuación)

Tipo de sedimentador	Descripción	Imagen
<p>Unidades de flujo vertical con manto de lodos</p>	<p>Son las unidades que trabajan por contacto de sólidos, combinan las funciones de mezclado, floculación y sedimentación en una sola estructura. Normalmente estas unidades son relativamente compactas, tienen forma cilíndrica o cuadrada y pueden ser de suspensión hidráulica y mecánica. La eficiencia depende principalmente de la variación de calidad del agua cruda y de la carga superficial (relacionada directamente con el caudal), además del tipo y dosis de coagulante, uso de polímeros, profundidad y concentración del manto de lodos.</p>	



Los sedimentadores de alta tasa se basan en la sedimentación gravitacional que tienen periodos de retención de no más de 15 min y eficiencias comparables a los tanques de sedimentación rectangulares convencionales en donde el tiempo de detención por lo general es de más de 2 horas.

Sedimentadores de placas o tubos de alta tasa

La eficiencia de la sedimentación de partículas en un flujo horizontal o vertical depende del área disponible para la sedimentación, por lo tanto, la eficiencia puede mejorarse incrementando esta área. Algunos tanques tienen pisos múltiples para lograr esto. Una alternativa exitosa ha sido el desarrollo de estructuras ligeras con superficies inclinadas estrechamente espaciadas.

### 2.1.5. FILTRACIÓN

La filtración es un proceso de tratamiento destinado a clarificar el agua al remover materia sólida en suspensión mediante su paso por un medio granular o poroso. La filtración generalmente sigue a los procesos de coagulación, floculación y sedimentación. Permite además una buena eliminación de bacterias, color, turbiedad así como ciertos problemas de olor y sabor en el agua (ilustración 2.2).

La filtración profunda (*deep filtration*) en medio granular es considerada como el resultado de mecanismos complementarios de transporte, adherencia y, en su caso, desprendimiento. Primero, las partículas por remover se transportan de la suspensión a la superficie de los granos del material filtrante. Las fuerzas que pueden man-

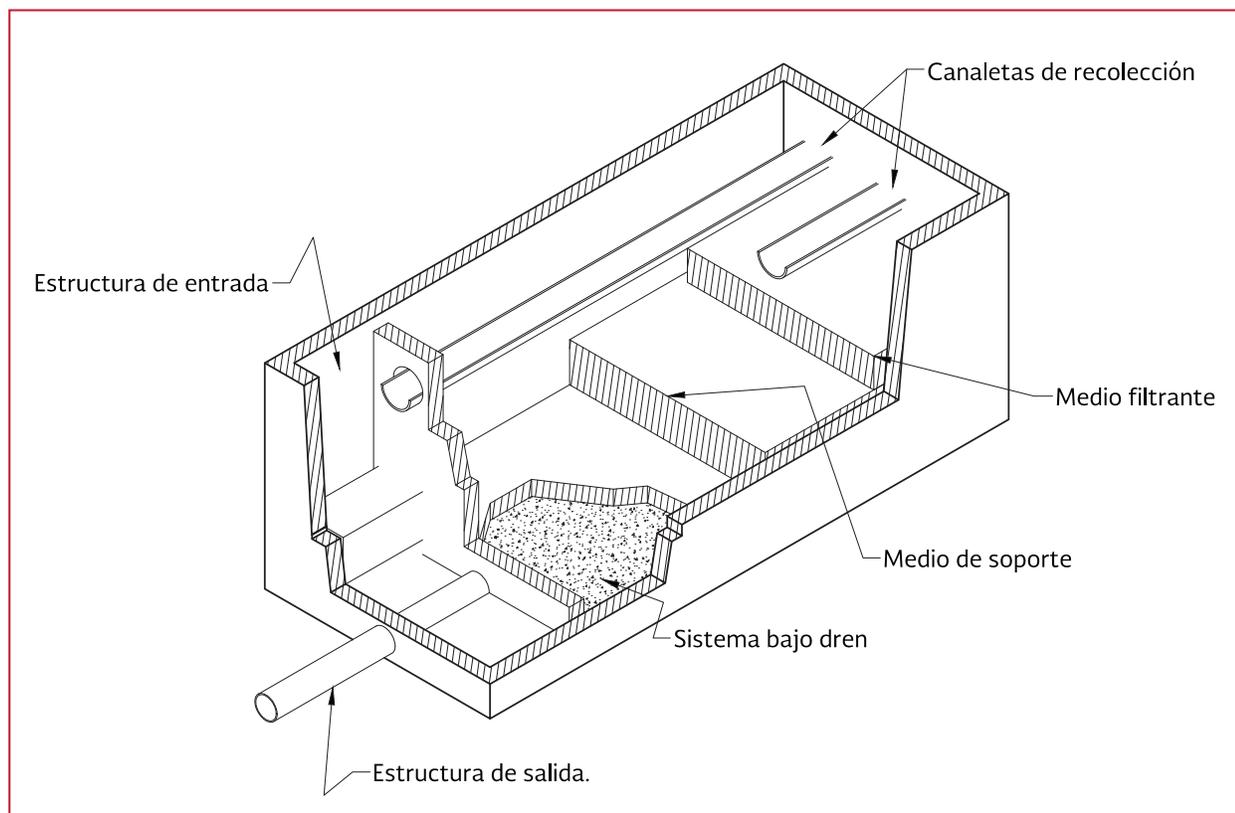
tener a las partículas adheridas a la superficie de los granos del lecho son activas sólo a distancias pequeñas (algunos angstroms). Para su remoción es necesario que se acerquen suficientemente a la superficie de los granos. Finalmente, una partícula ya adherida puede desprenderse y avanzar a capas más profundas del lecho o bien escapar de éste (IMTA, 2007).

#### Clasificación:

Hay muchas maneras de clasificar los filtros: por la presión a la que trabajan; la dirección y velocidad del flujo; el material filtrante; el modo de control o la manera en que se retienen los sólidos (IMTA, 2007).

- Desde el punto de vista de la fuerza que provoca el flujo a través del medio

Ilustración 2.2 Esquema filtración rápida



filtrante, se pueden clasificar como: 1) *de gravedad*: cuando el flujo es producido por la fuerza de gravedad y a cielo abierto; 2) *a presión*: cuando el flujo es provocado por un equipo de bombeo y en tanques metálicos cerrados

- Según la velocidad de filtración (tasa de filtración), pueden ser lentos, con tasas de filtración entre 0.08 y 0.3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> h, o rápidos, con tasas de aplicación de 2 a 15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> h. A los primeros se les llama también biológicos porque fundamentan su operación en la actividad biológica que tiene lugar en la superficie del lecho filtrante
- Desde el punto de vista del sentido del flujo, los filtros pueden ser ascendentes, descendentes, biflujo u horizontales. Los filtros biflujo combinan un flujo ascendente y descendente en un mismo lecho.
- Respecto a la manera en que operan, pueden ser de caudal constante cuando éste no varía durante la carrera de filtración (pero sí varía el nivel de agua sobrenadante), o de caudal variable con carga constante
- De acuerdo a los materiales filtrantes, pueden ser homogéneos o simples cuando sólo están compuestos por un material filtrante. Duales, cuando hay dos materiales filtrantes (regularmente arena y antracita) o múltiples cuando cuentan con más de dos tipos de materiales filtrantes
- De acuerdo a la manera en que se retienen los sólidos en el medio filtrante, se pueden clasificar como de filtración superficial y de filtración profunda. La filtración de superficie se lleva a cabo sobre un soporte delgado (una membrana por ejemplo), con la consecuente formación

de una capa de espesor creciente (torta) sobre el soporte. En la filtración profunda, la retención de los sólidos se realiza en todo el espesor del medio filtrante, regularmente compuesto de material granular. En el primer caso, la acción física de tamizado es el mecanismo dominante. En la filtración de acción en profundidad son otros los mecanismos responsables de la remoción de las partículas

#### *Retrolavado del filtro*

Para lavar un filtro se aplica el flujo de agua en sentido ascendente hasta lograr que el lecho se expanda y las partículas no estén más en contacto unas con otras. Como el flujo bajo estas condiciones es generalmente turbulento, la agitación obliga a las partículas a chocar entre ellas. Ello favorece el desprendimiento de la suciedad retenida en las mismas. El agua utilizada para lavar un filtro puede provenir de tanque elevado, bombeo directo o efluente de los demás filtros de la batería.

Es común inyectar aire o utilizar agitadores de superficie para aumentar la turbulencia en el medio filtrante sin tener que aumentar la velocidad de lavado. No obstante, esto originaría pérdida del material y el uso de una cantidad excesiva de agua.

Normalmente se inyecta aire. Luego el aire se inyecta por el fondo del filtro al mismo tiempo que el agua. La velocidad de retrolavado debe ser superior a 15 m/h y no es necesario que el lecho esté en expansión. Una vez detenido el aire, se continúa el lavado con agua para eliminar todas las impurezas a través de las canaletas de recolección de agua de retrolavado, con tasas de retrolavado mayores a 42 m/h.

Un factor importante en consumo de agua tratada y un riesgo de contaminación de la misma, lo constituye la eficiencia del retrolavado. Un buen lavado ahorra agua filtrada y deja al medio filtrante regenerado (limpio) para iniciar nuevamente el ciclo de filtración

### 2.1.6. ABLANDAMIENTO

El objetivo tecnológico del ablandamiento es la remoción de iones de calcio y magnesio, principales causantes de la dureza en el agua. Otros iones como  $Fe^{2+}$ ,  $S_r^{2+}$  y  $Mn^{2+}$  también causan dureza en el agua.

El proceso de ablandamiento de aguas requiere de grandes inversiones iniciales y alto costo de operación. Comúnmente, aguas con durezas totales menores de 200 mg/L no alcanzan a producir efectos objetables por el consumidor común. Durezas mayores a ese valor pueden causar dificultades de distribución y uso del agua. Los beneficios que se obtienen con el ablandamiento de aguas duras son los siguientes: economía de jabón y detergentes, mejor lavado de ropa y utensilios domésticos, disminución de incrustaciones en artefactos domésticos, mejor cocción y preparación de alimentos, prevención de la corrosión e incremento en la eficiencia de filtración (Rojas, 1999).

Los principales métodos usados son la precipitación o ablandamiento con cal y carbonato de sodio, el ablandamiento mediante cristalización en gránulos con soda cáustica, el ablandamiento con resinas de intercambio iónico y la nanofiltración (tabla 2.6).

### 2.1.7. REMOCIÓN DE HIERRO Y MANGANESO

Tanto el hierro como el manganeso causan serios problemas en suministros de agua. Estos problemas son más fuertes y críticos en aguas subterráneas. El hierro ferroso  $Fe^{2+}$  y el manganeso manganoso  $Mn^{2+}$  son formas solubles invisibles existentes principalmente en medios reductores (es decir, carentes de oxígeno disuelto y con pH bajo). Cuando las formas solubles de hierro y manganeso son expuestas al aire se transforman lentamente en las formas oxidadas de hierro férrico  $Fe^{3+}$  y manganeso mangánico  $Mn^{4+}$  visibles e insolubles. La tasa de oxidación depende del pH, la alcalinidad, el contenido orgánico y la presencia de agentes oxidantes.

Entre los métodos de remoción de hierro y manganeso se puede mencionar los basados en la oxidación del hierro por aireación o en la oxidación química del hierro y manganeso mediante cloro o permanganato de potasio, seguido por la

Tabla 2.6 Tipos de proceso de ablandamiento (Rojas J. R., 1999)

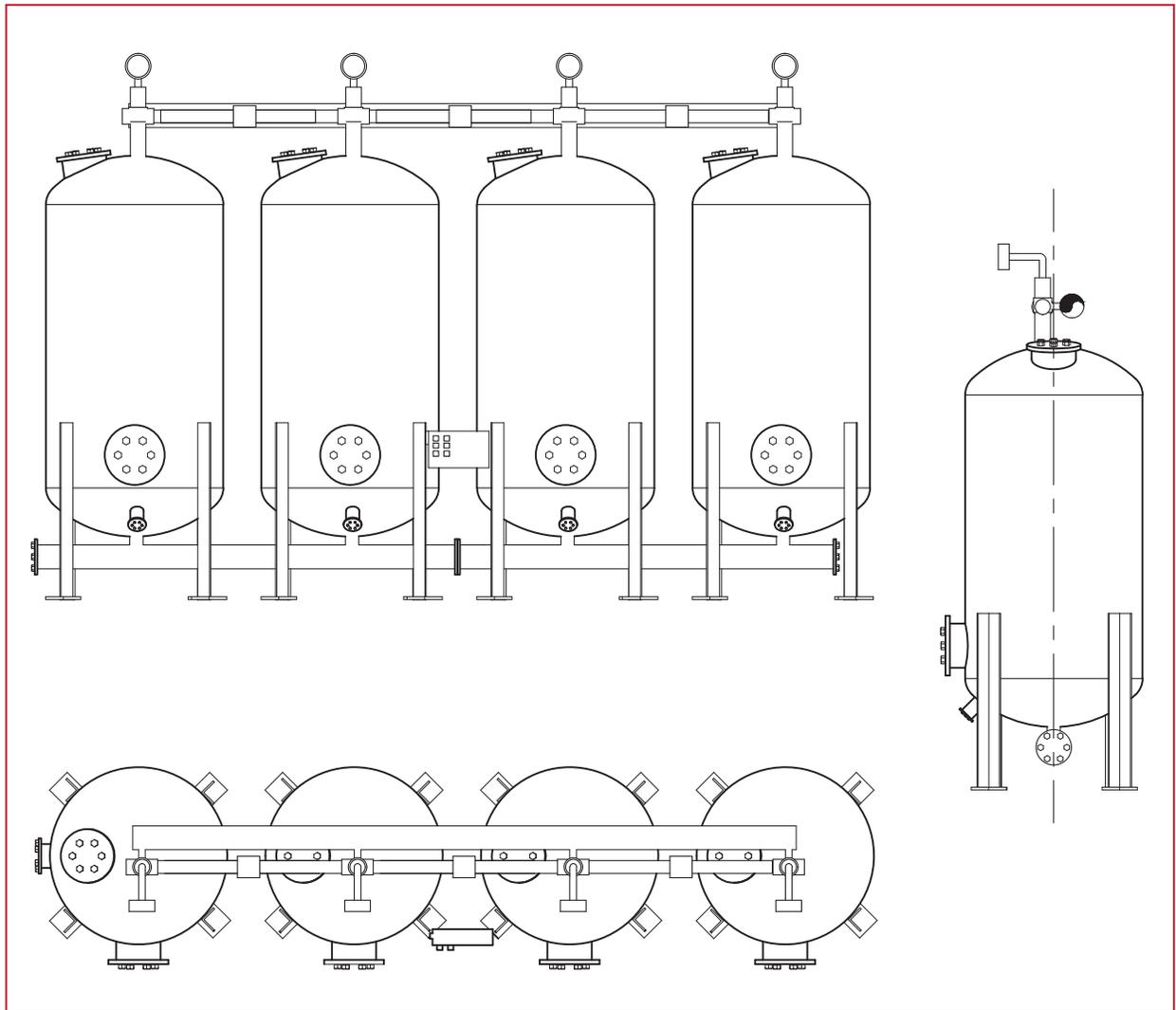
Tipo de proceso de ablandamiento	Descripción
Precipitación con cal y carbonato de sodio	El calcio puede precipitarse como carbonato de calcio aumentando la concentración de carbonato en el agua. El magnesio también se precipita cuando aumenta la concentración de iones hidróxido. Los compuestos insolubles forman flóculos sedimentables que son removidos como lodos en tanques de sedimentación.
Cristalización en gránulos con soda cáustica	Utiliza diferentes tipos de reactores de lecho fluidizado de gránulos sobre los cuales se presenta la cristalización del $CaCO_3$ .
Resinas de intercambio iónico	El calcio y el magnesio en solución con el agua son desplazados por un ion del material sólido insoluble que constituye la resina.

remoción de los precipitados por sedimentación y filtración. También, recientemente desarrollado por el IMTA, se puede mencionar el método de remoción de hierro y manganeso por adsorción-oxidación sobre zeolita natural (Piña, 2011). Éste consiste, a grandes rasgos, en una oxidación con cloro y un filtro de zeolita. Dicho proceso tiene las siguientes ventajas: alta eficiencia, fácil de operar, sorbente selectivo, no hay interferencia entre otros cationes, bajos costos de operación y mantenimiento, no genera pérdidas de carga significativa entre otros beneficios (Piña, 2011).

## 2.1.8. ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVADO

La adsorción es uno de los métodos más utilizados en la remoción de metales pesados y metaloides en el tratamiento del agua (ilustración 2.3). En los últimos 15 años, se han realizado investigaciones para poder encontrar adsorbentes eficientes y económicamente factibles de utilizar en la remoción de metales pesados y metaloides de soluciones acuosas (Cheung, 2001).

Ilustración 2.3 Esquema proceso de adsorción con carbón activado



La adsorción de una sustancia es un proceso de transferencia de masa entre dos fases, un líquido o un gas hacia partículas sólidas. La molécula que se transfiere, y se acumula o adsorbe, es llamada adsorbato y el sólido en el que se lleva a cabo la adsorción es llamado adsorbente. Este proceso es un fenómeno superficial, por lo que cuanto mayor es la superficie del medio adsorbente, mayor es la capacidad de acumular material.

La adsorción de un soluto (adsorbato) en la superficie de un sólido (adsorbente) ocurre como resultado de la acción de una de las propiedades características que tiene un sistema soluto-sólido-solvente, o una combinación de la acción de ambas. Una de las fuerzas de inducción primaria proviene del carácter líofobo (no afinidad por el solvente) del soluto por el solvente, o por una gran afinidad del soluto por el sólido. En este caso, la solubilidad del soluto es, por mucho, el factor más significativo para determinar la intensidad de esta primera fuerza de inducción. Esto es, mientras más grande sea la afinidad del soluto por el solvente, o mayor su solubilidad en el mismo, será menor la atracción hacia la interfase del sólido para que esta sustancia pueda ser adsorbida. Contrariamente, mientras más pequeña sea su solubilidad, será mayormente

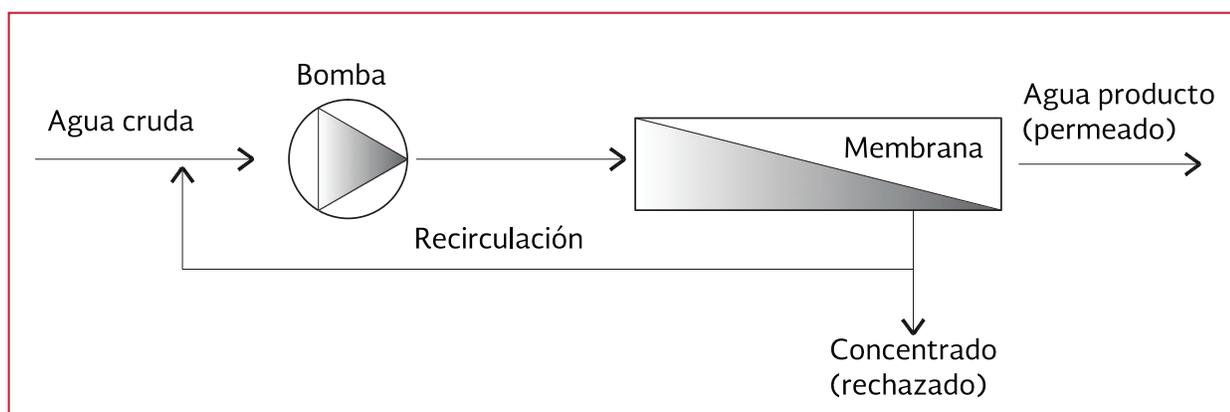
adsorbido por el sólido. En el caso de soluciones acuosas, lo anterior aplica dependiendo del carácter hidrófobo o hidrófilo del soluto o compuesto en cuestión (Weber, 1979).

Algunos de los principales adsorbentes de acuerdo a su uso en diferentes procesos de adsorción son: carbón activado, alúmina activada, sílica gel y zeolitas. El carbón activado y los aluminosilicatos son los adsorbentes más usados en la eliminación de metales pesados. El carbón activado, por su superficie no polar y su bajo costo, es el adsorbente elegido para eliminar una amplia gama de contaminantes. Sin embargo, como no es selectivo, puede adsorber también componentes inocuos que se encuentren en proporciones más elevadas que otros contaminantes más peligrosos como los metales pesados.

### 2.1.9. ÓSMOSIS INVERSA

La ósmosis inversa es un proceso inventado por el hombre que invierte el fenómeno natural de ósmosis. El objetivo de la ósmosis inversa es obtener agua purificada partiendo de un caudal de agua que está relativamente impura o salada. En el fenómeno de ósmosis inversa el agua se mueve a través de una membrana semipermeable desde una zona de baja concentración hacia una zona

Ilustración 2.4 Ósmosis inversa (Iglesias, 1999)



más concentrada (de sales e impurezas), hasta un punto en que se alcanza un equilibrio de fuerzas según se ve en la ilustración 2.4 (Iglesias, 1999).

Para poder proyectar un equipo de ósmosis inversa es fundamental conocer las características del agua de alimentación, el caudal a tratar y el uso del agua producto.

Los equipos de ósmosis inversa están constituidos básicamente por:

- Fuente de presión
- Pretratamiento y acondicionamiento
- Contenedor y membranas de ósmosis inversa
- Medidores de flujo permeado, concentrado y reciclado
- Control mediante microprocesador

- Panel de protección, mando y control
- Sistema de postratamiento

### 2.1.10. DESINFECCIÓN

El agua ha servido como vía de transmisión de diversas enfermedades, sobre todo, relacionadas con el tracto digestivo. Entre ellas se incluye la fiebre tifoidea, parasitosis, disentería, hepatitis infecciosa, cólera, y otras enfermedades parasitarias. Muchos microorganismos causan mal olor y sabor al agua además de producir de capas de musgo, cieno y moho en los cuerpos de agua, almacenamiento, instalaciones de tratamiento y conducción. En general los microorganismos son asociados con agua de mala calidad o que puede provocar enfermedades. Los grupos de organismos de interés en agua potable y sistemas de abastecimiento son las bacterias, virus,

Tabla 2.7 Tipos de desinfectantes de agua (EPA, 1999)

Tipo de desinfectante	Características	Ventajas	Desventajas
Métodos químicos			
Hipoclorito de sodio, gas cloro y derivados del cloro	El cloro es uno de los elementos más comunes para la desinfección del agua.	El cloro se puede aplicar para la desactivación de la actividad de la gran mayoría de los microorganismos, y es relativamente barato. Tiene efecto residual	Genera trihalometanos que pueden ser cancerígenos
Peróxido de hidrógeno	Desactiva los organismos patógenos del agua por oxidación	Es natural y no causa daño al ambiente; además, no irrita la piel como el cloro. Es de bajo costo y fácil de adquirir	La efectividad del peróxido depende de su capacidad para liberar iones de oxígeno.
Ozono	Después de la cloración es el método de desinfección más frecuentemente empleado	Gas ozono generado <i>in situ</i>	El ozono no se disuelve en el agua de la misma manera que el cloro. Las plantas de tratamiento de agua deben utilizar técnicas de mezclado complejas para poder desinfectar el agua con ozono. Esto hace que el proceso sea mucho más complicado que el del tratamiento con cloro.
Métodos físicos			
Radiación ultravioleta	Producida por lámparas que emiten radiación con una frecuencia de 254 nm	La desinfección con luz UV es eficaz para la desactivación de la mayoría de los virus, esporas y quistes.	La baja dosificación puede no desactivar eficientemente algunos virus, esporas y quistes.
Calor	Sistema muy empleado en procesos de pasteurización	Fácil de emplear	No tiene elevada efectividad de desinfección

hongos, mohos, algas, protozoarios y helmintos o lombrices parasitarias. La acción de los desinfectantes se ha pretendido explicar por cuatro mecanismos: daño a la pared celular, alteración de la permeabilidad de las células, alteración de la naturaleza coloidal del protoplasma, e inhibición de la actividad enzimática. El daño o destrucción de la pared celular da lugar a la lisis celular y a la muerte de la célula. Algunos agentes, como la penicilina, inhiben la síntesis de la pared celular de las bacterias. Los agentes como los compuestos fenólicos y los detergentes alteran la permeabilidad de la membrana citoplasmática. Estas sustancias destruyen la permeabilidad selectiva de la membrana y permiten que se escapen algunos nutrientes vitales, como el nitrógeno y el fósforo. El calor, la radiación y los agentes fuertemente ácidos o alcalinos alteran la naturaleza coloidal del protoplasma. El calor coagula la proteína celular y los ácidos o bases desnaturalizan las proteínas lo que produce un efecto letal.

Otro modo de desinfección consiste en la inhibición de la actividad enzimática. Los agentes oxidantes, tales como el cloro, pueden alterar la estructura química de las enzimas dando lugar a su desactivación (tabla 2.7).

#### *Características deseables de los desinfectantes del agua*

Todo desinfectante tiene que satisfacer ciertos criterios generales:

- Debe ser capaz de destruir o inactivar, en plazos razonables, los microorganismos cualesquiera que sean su especie y cantidad
- Debe ser fiable cuando se utilice en las diversas condiciones que probablemente

se encuentren en el sistema de tratamiento de aguas residuales

- Debe ser capaz de mantener una concentración residual en el sistema de distribución final como resguardo contra la recontaminación o el rebrote de microorganismos
- Debe ser razonablemente seguro y fácil de manejarse y aplicarse
- La determinación de desinfectante en el agua debe ser sencilla, rápida y apropiada para realizarla en el campo así como en el laboratorio
- Tanto el costo del equipo (de su instalación, funcionamiento, mantenimiento y reparación), como el costo de la compra y el manejo de los materiales que se requieren para conseguir una dosificación eficaz y sostenida, deben ser razonables

#### 2.1.11. TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS Y RESIDUOS

Las plantas potabilizadoras producen agua de la mejor calidad posible a partir de la fuente de abastecimiento disponible. En los procesos que se llevan a cabo en las potabilizadoras se producen residuos. La mayor parte de los residuos de las plantas potabilizadoras en México son lodos químicos. Estos resultan de la adición y reacción, en los procesos de potabilización del agua, de diferentes compuestos químicos.

Estos lodos químicos contienen las impurezas que degradan la calidad del agua cruda y que se remueven en la planta. Deben, por lo tanto, disponerse de una manera que no dañe al ambiente. Los residuos que se generan en algunos de los procesos de tratamiento incluyen los materiales que causan turbiedad y color: sólidos

orgánicos e inorgánicos, algas, bacterias, virus y precipitados químicos. Estos residuos pueden derivarse de la coagulación química, precipitación de hierro y magnesio, agua de retrolavado, regeneración de resinas, entre otros. Los procesos para manejo de residuos incluyen sedimentación, espesamiento, acondicionamiento, desaguado, secado, recuperación, reúso y disposición final (AWWA, 2012).

### Reducción de volumen de los lodos

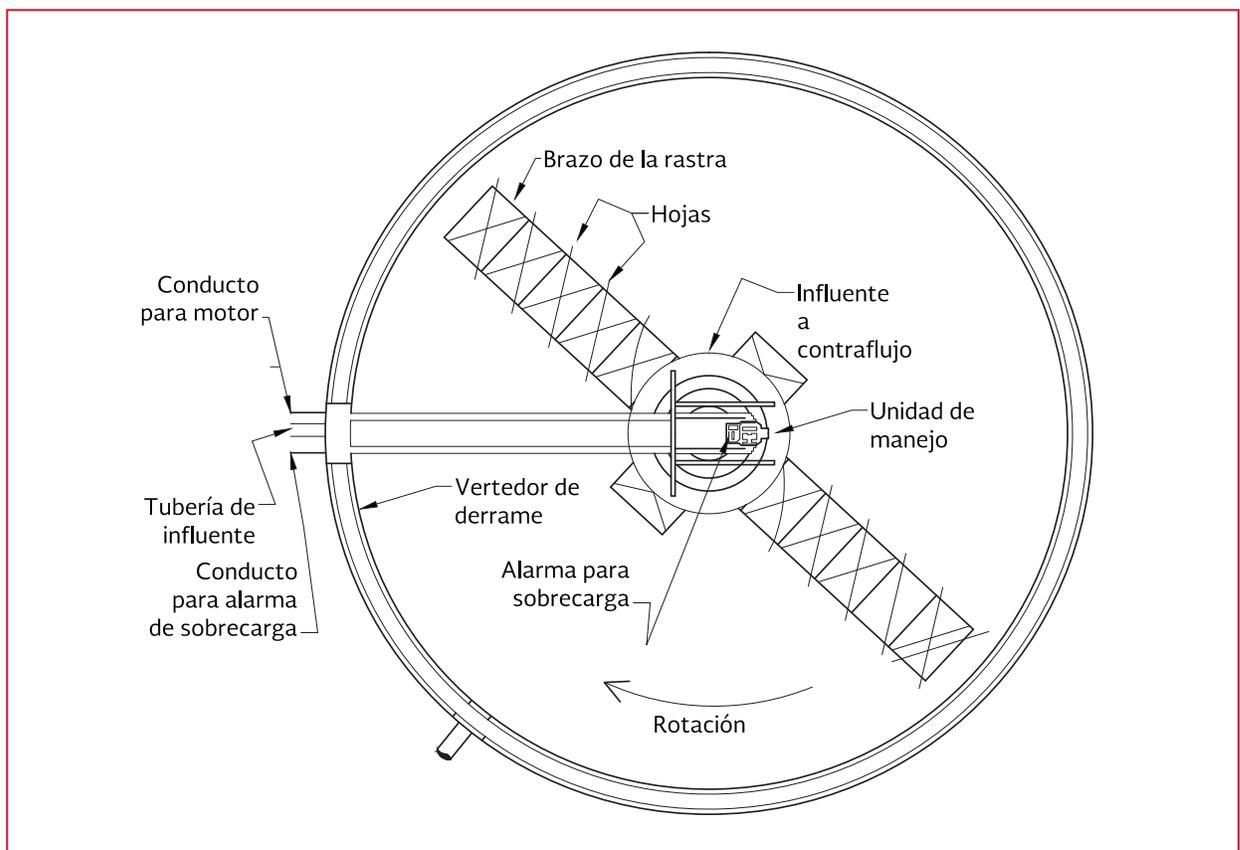
La reducción del volumen de los lodos generados en las plantas potabilizadoras es el objetivo principal del tratamiento de los mismos, ya que su reducción facilita las operaciones de transporte y de disposición final. Los métodos más usados para la reducción del volumen de los

lodos son el espesamiento, la centrifugación, el prensado, el secado en lechos de secado y el secado en lagunas.

### Tanques espesadores

El diseño más común de espesador por gravedad es un tanque circular (ilustración 2.5) con una profundidad de pared mojada de 3 a 4 m, y diámetro hasta de 25 m. Está equipado con mecanismos para facilitar el desaguado y la remoción de los lodos. La pendiente del piso de estos tanques, normalmente de 2:12 a 3:12, es más pronunciada que las de los tanques normales de sedimentación. Esta mayor pendiente hace más profunda la capa de lodos en la parte central del tanque. También permite un tiempo mínimo de retención, maximiza la profundidad

Ilustración 2.5 . Espesador de lodo por gravedad circular (IMTA, 2007).



del lodo sobre el tubo de extracción y facilita la operación de las rastras.

### ***Lagunas para espesamiento***

Las lagunas de espesamiento se utilizan cuando existe área suficiente en el predio de la planta. En estas lagunas se depositan los lodos y se decanta el sobrenadante a medida que se vaya espesando el lodo. Las lagunas se pueden diseñar para funcionar como lechos de secado una vez que se alcanza el nivel de lodo de diseño.

### ***Acondicionamiento del lodo***

El acondicionamiento de lodos de plantas potabilizadoras se refiere a la variedad de técnicas -químicas y físicas- utilizadas para alterar las características del lodo. De esta manera se hace más eficiente la remoción subsecuente del agua. No existe una práctica de acondicionamiento única y ampliamente aceptada para un tipo dado de lodo. Un agente acondicionante que trabaja bien en una planta puede no trabajar en otra similar, y es necesario realizar pruebas de laboratorio.

### ***Desaguado de lodo, métodos naturales***

El desaguado natural de lodos es uno de los primeros métodos alternativos para reducir el contenido de agua de lodos antes de disposición final. Incluye el uso de lechos de secado y las lagunas de espesamiento y secado. Para los lodos químicos de potabilizadoras, la deshidratación natural es lenta y difícil, por lo que se prefiere el método mecánico cuando es posible.

### ***Lechos de secado***

Los lechos de secado operan bajo el principio simple de extender el lodo y dejarlo secar. Una

gran cantidad del agua se remueve por drenado o decantación y el resto del agua debe evaporarse antes de que se alcance la concentración final deseada de sólidos.

Los lechos de secado se pueden agrupar en cuatro tipos:

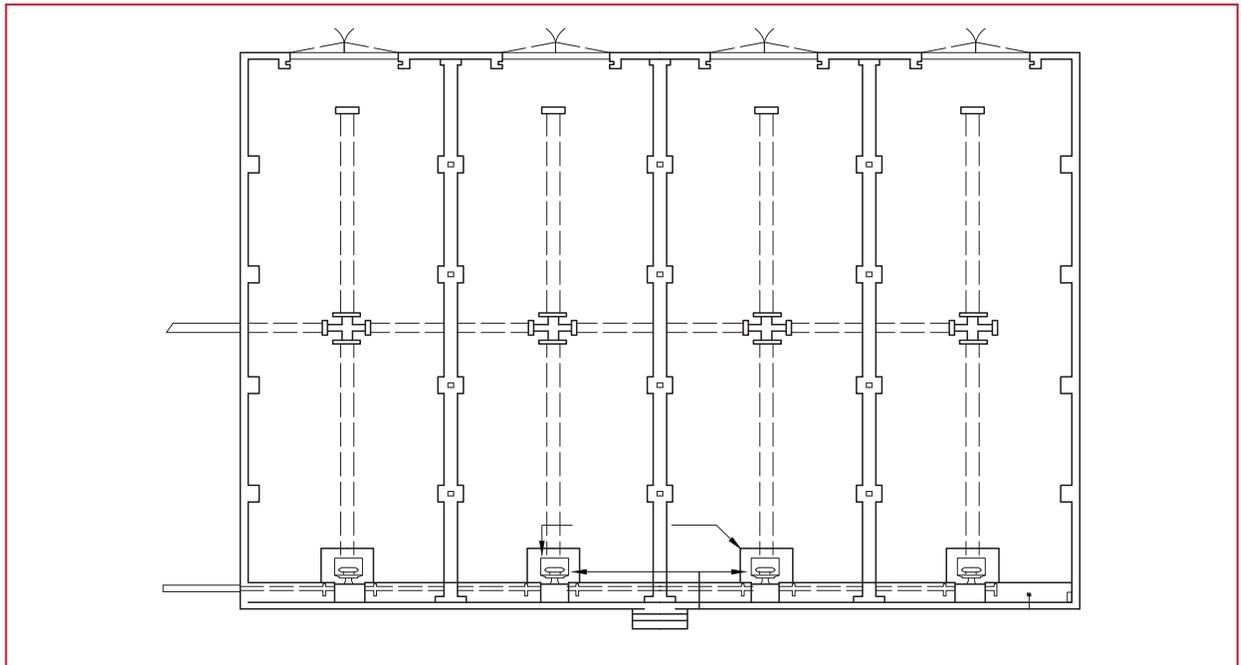
1. Lechos rectangulares convencionales, con una capa de arena sobre grava, y con tuberías de drenaje subterráneas para recoger el agua. Se construyen con o sin instalaciones para la remoción mecánica del lodo seco, y con o sin cubierta (ilustración 2.6)
2. Lechos de secado pavimentados, con una franja central de arena para drenado y con o sin cubierta
3. Lechos con malla de alambre, los cuales tienen un fondo de malla de alambre e instalaciones para inundarlos con una capa poco profunda de agua, seguida de la introducción del lodo líquido sobre la capa de agua
4. Lechos rectangulares de vacío, con instalaciones para la aplicación de vacío a fin de acelerar el drenado

En la tabla 2.8 se observan algunos métodos de desaguado de lodos mediante método mecánico.

## **2.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA.**

En la tabla 2.10 se muestran algunos de los factores o variables que influyen en cada una de las operaciones y procesos de la potabilización.

Ilustración 2.6 Plano de un lecho de secado típico



### 2.3. CRITERIOS DE DISEÑO

El diseño de una planta potabilizadora en cualquier localidad debe enfocarse hacia la optimización del capital disponible para la construcción y los recursos humanos y materiales (IMTA, 2004).

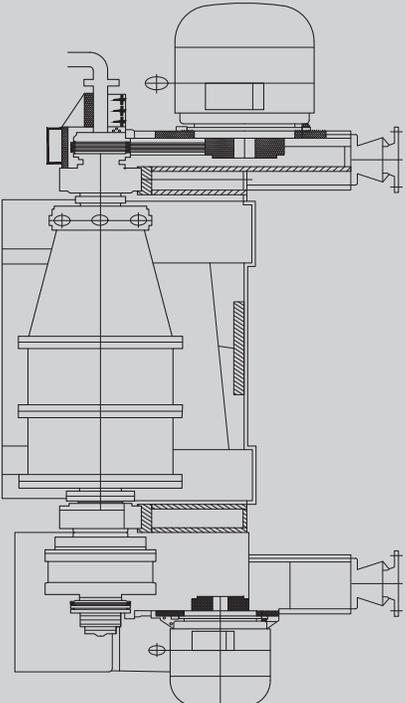
Los criterios generales para el diseño de plantas potabilizadoras convencionales se pueden resumir como se indica a continuación (IMTA, 2007):

- Simpleza operativa
- Eliminar en lo posible equipo mecánico y si es indispensable limitarlo al que se produce en el país
- Se preferirán los dispositivos hidráulicos que usan gravedad para mezcla, floculación y control de la tasa de filtración sobre equipo mecanizado

- La pérdida de carga debe ser conservada hasta donde sea posible
- La mecanización y automatización serán apropiadas únicamente donde las operaciones no puedan ser hechas manualmente
- La planta debe diseñarse para tratar el agua cruda disponible. Debido a que la composición del agua es diferente para cada caso, deben determinarse los objetivos específicos del tratamiento antes de iniciar el diseño de la planta para cada proyecto

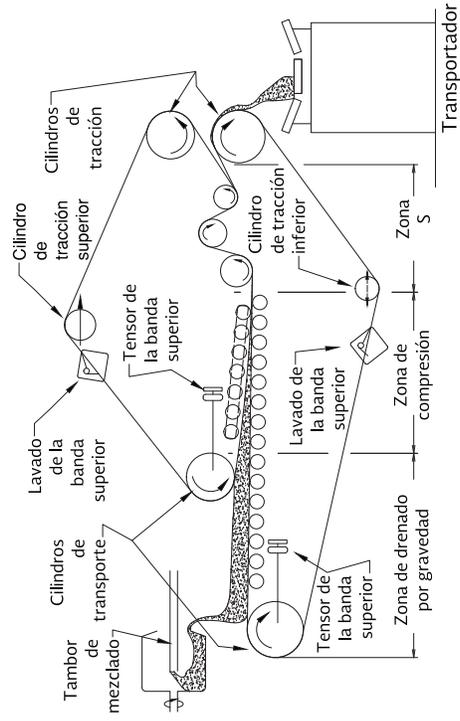
En la tabla 2.11 se observan los principales parámetros de diseño para plantas potabilizadoras. Adicionalmente, para trenes de tratamiento más especializados, en la tabla 2.12 se muestran los parámetros de diseño adicionales para estas unidades de tratamiento.

Tabla 2.8 Desaguado de lodos mediante métodos mecánicos (IMTA, 2007)

Tipo	Descripción	Imagen
Centrifugación	<p>Las centrifugas separan el lodo crudo en torta de lodo desaguado y líquido "centrifugado" clarificado. La separación de la torta de lodo del centrifugado está basada en la diferencia de densidad entre los sólidos del lodo y el líquido circundante. El proceso de desaguado es similar al proceso de clarificación por gravedad. Una centrifuga, sin embargo, utiliza una fuerza centrífuga entre 500 y 3000 veces superior a la fuerza de la gravedad.</p>	

Las centrifugas separan el lodo crudo en torta de lodo desaguado y líquido "centrifugado" clarificado. La separación de la torta de lodo del centrifugado está basada en la diferencia de densidad entre los sólidos del lodo y el líquido circundante. El proceso de desaguado es similar al proceso de clarificación por gravedad. Una centrifuga, sin embargo, utiliza una fuerza centrífuga entre 500 y 3000 veces superior a la fuerza de la gravedad.

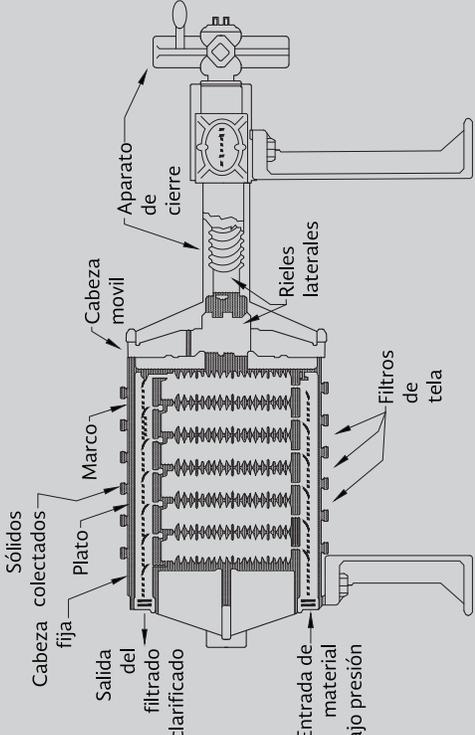
Centrifugación



El filtro de banda es una de las opciones más utilizadas para la deshidratación de los lodos químicos. Esta prensa tiene bandas móviles sencillas o dobles para desaguar los lodos en forma continua, mediante una combinación de drenado por gravedad y compresión. El lodo es desaguado en el filtro de banda de forma secuencial, a través de tres etapas operativas: acondicionamiento químico del lodo, influente drenado por gravedad hasta una consistencia no fluida y compactación del lodo en una zona de presión. La operación de desaguado empieza al entrar el lodo floculado con polímero a la sección de drenado por gravedad. Esta normalmente consiste en una banda continua porosa, que proporciona una gran área superficial a través de la cual se lleva a cabo el drenado; un sistema de distribución aplica el lodo uniformemente sobre la banda.

Filtro de banda

Tabla 2.8 Desaguado de lodos mediante métodos mecánicos (IMTA, 2007) (continuación)

Tipo	Descripción	Imagen
<p>Filtro prensa</p>	<p>La principal ventaja de un sistema de filtro prensa consiste en que, para ciertos tipos de lodos, produce una torta más seca que la de otras alternativas. En casos donde el contenido de sólidos en la torta deberá ser mayor del 35%, los filtros prensa pueden ser una alternativa costosa. Los filtros prensa también tienen una operación adaptable a una amplia gama de características de lodo, confiabilidad mecánica aceptable, requerimientos comparables de energía a los sistemas de filtrado al vacío, y una alta calidad del filtrado, que disminuye los requerimientos de tratamiento de la corriente recirculada.</p>	 <p>El diagrama muestra un filtro prensa mecánico con los siguientes componentes etiquetados: Cabeza fija, Sólidos colectados, Plato, Marco, Cabeza móvil, Aparato de cierre, Rieles laterales, Filtros de tela, Entrada de material bajo presión, Salida del filtrado clarificado y Cabeza colectadora.</p>

En la filtración de lodos se requiere un diferencial de presión, a través de un medio filtrante, para lograr que el agua del lodo atraviese el medio y que los sólidos se retengan y formen una torta. La diferencial de presión en la filtración al vacío es el vacío que se aplica al medio filtrante en el lado opuesto al de la aplicación de los lodos.

La mayoría de los filtros de vacío emplean un tambor rotatorio con medio filtrante en su superficie. El tambor está sumergido parcialmente (10 al 50%) en un depósito de lodo. El lodo puede estar sujeto a agitación para mantener los sólidos en suspensión. El tambor gira alrededor de un eje horizontal.

El vacío aplicado en el interior de la superficie del tambor succiona al filtrado a través del medio filtrante y de la torta hacia la tubería de recolección. El flujo de filtrado se controla mediante una válvula de tiempo localizada en un extremo del tambor a lo largo del eje de rotación.

Filtro de vacío

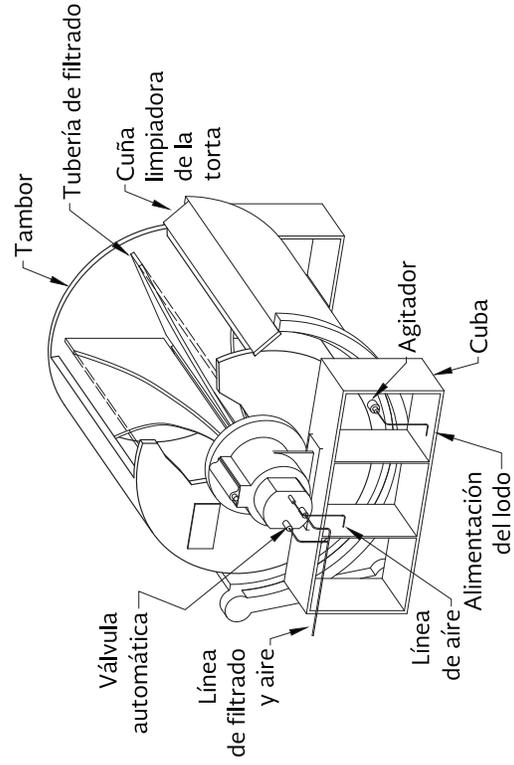


Tabla 2.9 Tipos de disposición final de lodos

Tipo de disposición	Descripción
Descarga directa a cuerpos receptores	<p>Ésta es la forma de disposición más usada en México. La descarga incluye tanto las purgas de los sedimentadores, como la corriente de agua de lavado de filtros.</p> <p>De acuerdo con la legislación mexicana vigente, para poder realizar una descarga a un cuerpo receptor se requiere un permiso de descarga de la Conagua. Este permiso incluye las condiciones particulares de descarga, las cuales se determinan basándose en los Lineamientos de calidad de agua de la Ley federal de derechos. Aplica la NOM-001-SEMARNAT-1996.</p>
Descarga al sistema de alcantarillado	<p>Este método de disposición se utiliza en México cuando la planta potabilizadora se encuentra dentro del área urbana, ya que es la solución más sencilla. Sin embargo, el gasto de los lodos debe igualarse para no sobrecargar las atarjeas del alcantarillado, además de que las purgas de los sedimentadores pueden ser muy espesas. Si se instala un tanque de balance la descarga se puede hacer de manera que no sobrecargue el sistema de alcantarillado. Aplica la NOM-002-SEMARNAT-1996.</p>
Disposición en un relleno sanitario	<p>El primer aspecto a considerar para este método de disposición, es el traslado de los lodos de la planta a las instalaciones del relleno sanitario. Para poder transportarse en camiones, el lodo de sulfato de aluminio debe tener una consistencia semisólida, la cual se alcanza con un contenido de sólidos mayor al 20%. Para la aceptación de los lodos de la potabilizadora en un relleno sanitario municipal de residuos sólidos, deberá demostrarse que los lodos no son peligrosos, mediante la aplicación de la normativa vigente. Aplica la NOM-004-SEMARNAT-2002.</p>
Aplicación al terreno	<p>Los lodos de plantas potabilizadoras son de poco valor agronómico. Los lodos de ablandamiento se utilizan como mejoradores de suelos ácidos por el pH alto que tienen y por su capacidad amortiguadora. Los lodos de hidróxido, por otra parte, pueden secuestrar el fósforo presente en el suelo y por lo tanto pueden tener efectos adversos en los cultivos. En los suelos donde se aplican es necesario añadir fósforo para compensar estos efectos. Aplica la NOM-004-SEMARNAT-2002.</p>

Tabla 2.10 Factores que influyen en los procesos (Rojas, 1999)

Unidad de tratamiento	Factores o variables que influyen en los procesos
Medición de caudal con vertedor	<p>La velocidad del flujo en el canal de aproximación (aguas arriba de la estructura) debe estar uniformemente distribuida.</p> <p>Deben colocarse perpendicularmente al flujo del canal.</p> <p>El canal de acceso debe ser recto antes de llegar al vertedor, al menos diez veces la longitud de su cresta (10 L).</p> <p>Aguas abajo del canal, no debe haber obstáculos que provoquen ahogamiento o inmersión de la descarga del vertedor.</p> <p>La carga <math>H</math> o altura del agua sobre el vertedor, se debe medir en una zona de régimen tranquilo, colocando la escala a una longitud mínima de cuatro veces la carga <math>4H</math>, aguas arriba de la cresta.</p> <p>Es conveniente que la corriente llegue a la estructura con baja velocidad, aceptando como máximo <math>v = 0.40</math> m/s.</p> <p>La sección transversal debe ser lo más regular posible.</p> <p>Los márgenes deberán ser estables y el fondo regular, sin salientes ni entradas que puedan perturbar el flujo.</p> <p>Con respecto a la medición de caudal en tuberías, la sección transversal debe conocerse con precisión. Muchos dispositivos se encuentran disponibles para la medición de flujo en tuberías. Algunos de ellos miden la velocidad de flujo de volumen en forma directa, mientras que otros miden la velocidad promedio del flujo el cual puede convertirse a velocidad de flujo de volumen utilizando <math>Q = Av</math>. Así mismo, algunos de ellos proporcionan mediciones primarias directas, mientras que otros requieren calibración o la aplicación de un coeficiente de descarga a la salida observada del dispositivo. La forma de la salida del medidor de flujo también varía en forma considerable de un tipo a otro. La indicación puede ser una presión, un nivel de líquido, un contador mecánico, la posición de un indicador en la corriente del fluido, una señal eléctrica continua o una serie de pulsos eléctricos.</p>
Coagulación	<p>El tiempo de agitación y la intensidad de mezclado requerida para dispersar el coagulante.</p> <p>Dosificación de los reactivos.</p> <p>Influencia de la concentración de coagulante.</p> <p>Calidad del agua cruda: las características del agua cruda que más influyen en la eficiencia del proceso son la concentración de coloides (medida normalmente mediante la cantidad de turbiedad presente en el agua), la alcalinidad, el pH, el tamaño de las partículas y la temperatura.</p>

Tabla 2.10 Tipos de disposición final de lodos (continuación)

Unidad de tratamiento	Factores o variables que influyen en los procesos
Floculación	<p>Tiempo de floculación.                      Gradiente de velocidad.                      Características fisicoquímicas del agua cruda, como el pH, la temperatura, la turbiedad, iones disueltos, etc.                      Concentración, tamaño y naturaleza de las partículas suspendidas en el agua (turbiedad).                      Velocidad o tasa de aglomeración o formación de flóculos.                      Variaciones de caudal.</p>
Sedimentación	<p>Calidad del agua cruda y sedimentada                      Eficiencia de los procesos anteriores en la distribución de los reactivos y formación del flóculo, como son la mezcla rápida y la floculación.                      El tiempo de residencia en la unidad, con la finalidad de poder obtener las condiciones hidráulicas que predominan en ésta.                      Determinar cómo la configuración y diseño de la zona de entrada, sedimentación, depósito de lodos y salida de agua influyen en las condiciones hidráulicas.</p>
Filtración	<p>Pérdida de carga a través del medio filtrante.                      Tasa de filtración.</p>
Ablandamiento	<p>Grado de dureza del agua.                      pH                      Grado de solubilidad de los reactivos precipitadores (cal y carbonato de sodio)</p>
Remoción de hierro y manganeso	<p>Alcalinidad.                      Dosis de reactivos oxidantes (cloro o permanganato de potasio).                      Tasa de transferencia de oxígeno.</p>
Adsorción con carbón activado	<p>Temperatura.- En general, aumentando la temperatura disminuye la adsorción.                      Área superficial y tamaño de poro.- La cantidad de sustancia que puede adsorber un material se considera que es directamente proporcional al área superficial, sin embargo, depende también del tamaño de poros.                      Naturaleza del soluto.- Entre más orgánico sea el soluto (no polar, poco soluble en agua), se adsorbe mejor. El aumento del tamaño de las moléculas favorece la adsorción, mientras no sean más grandes que los poros accesibles.                      pH.- Tiene efecto cuando la especie que se adsorbe se puede ionizar dependiendo del pH.                      Competición con otros solutos.- Depende de la afinidad de los diferentes solutos con los sitios de adsorción del material adsorbente.</p>
Ósmosis inversa	<p>Temperatura y presión afectan a determinadas propiedades del agua y en particular a su viscosidad. La temperatura determina una mayor o menor facilidad de fluir y permear a través de las membranas.                      Factor de polarización.- Aumenta con el factor de conversión y disminuye con el aumento de la velocidad del agua por la membrana.                      Coeficiente de permeabilidad.                      Flujo medio.                      Factor de ensuciamiento (Silt Density Index, SDI).                      Área filtrante y edad de las membranas.</p>
Desinfección	<p>Naturaleza del desinfectante.                      Capacidad del desinfectante para destruir los organismos patógenos presentes en el agua.                      Concentración del desinfectante.                      Tiempo de contacto con el agua suficiente para que el desinfectante actúe.                      Características fisicoquímicas del agua.                      Temperatura del agua. Temperaturas altas reducen el tiempo de desinfección.</p>

Tabla 2.11 Parámetros de diseño para una planta de potabilización convencional (Rojas, 2000)

Unidad de proceso	Parámetro de referencia
<b>Caudal de diseño</b>	
Con almacenamiento	Caudal de diseño = caudal medio
Sin almacenamiento	Caudal de diseño = caudal medio
<b>Presedimentación</b>	
Tiempo de retención	>2 h
Carga superficial	15 a 80 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d, para sedimentadores horizontales.
<b>Cribado</b>	
Inclinación de las rejillas	70 a 80° con respecto a la horizontal
Separación entre las barras	75 a 150 mm para estructuras de captación en ríos con grava gruesa. 20 y 40 mm para ríos caracterizados por el transporte de gravas finas.
Velocidad de flujo a través de la rejilla	0.15 m/s
<b>Aireador de bandejas</b>	
Carga hidráulica superficial	< 100 m/d
Número de bandejas	3 a 5
Separación entre bandejas	0.3 m a 0.75 m
Profundidad del agua entre bandejas	Aproximadamente 0.15 m
Área de las bandejas	0.5 a 2.0 m <sup>2</sup> por cada 1000 m <sup>3</sup> de capacidad
Tamaño del medio	Partículas de coque de 0.05 a 0.15 m
Profundidad del medio	0.15 a 0.30 m
<b>Mezcla rápida mecánica</b>	
Tiempo de retención	< 20 s
Gradiente de velocidad	500 a 2 000 s <sup>-1</sup>
Número de unidades	2 mínimo
<b>Mezcla rápida hidráulica</b>	
<b>Canaleta Parshall</b>	
Altura del agua / ancho de la canaleta	0.4 a 0.8 m
Velocidad mínima en la garganta	2 m/s
Velocidad mínima del efluente	0.75 m/s
Numero de Froude	1.7 a 2.5 o 4.5 a 9.0
<b>Difusores</b>	
Tiempo de retención	1 a 10 s
Gradiente de velocidad	500 a 1 000 s <sup>-1</sup>
<b>Difusores de tubo perforado</b>	
Espacio entre orificios	< 0.1 m
Diámetro del orificio	< 3 mm
Velocidad del agua a través del orificio	3 m/s
Velocidad del agua	2 m/s
<b>Floculadores hidráulicos</b>	
Velocidad del agua	0.2 a 0.6 m/s
Tiempo de retención	20 a 40 min
Gradiente de velocidad	70 a 20 s <sup>-1</sup>

Tabla 2.11 Parámetros de diseño para una planta de potabilización convencional (Rojas, 2000) (continuación)

Unidad de proceso	Parámetro de referencia
<b>Floculador mecánico</b>	
Tiempo de retención	>30 min
Gradiente de velocidad	75 a 15 s <sup>-1</sup>
Velocidad periférica	3 m/s, floculadores de alta energía; 0.3 a 0.75 m/s floculadores de baja energía
Diámetro del agitador	0.15 a 0.30 m
Número de unidades	>2 unidades en serie, niveles de complejidad bajo y medio; > 4 unidades en serie, niveles de complejidad medio alto y alto
<b>Sedimentador rectangular</b>	
Carga superficial	15 a 30 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d
Tiempo de retención hidráulica	2 a 4 h
Velocidad de flujo	5 mm/s
Altura del agua	3 a 5 m
Pendiente del fondo	>2%
Descarga de lodos	Máximo en 6 h
Relación longitud/ancho	5:1
Relación longitud/profundidad	5:1 a 25: 1
Número de unidades	>3
Tasa sobre el vertedor	1.7 a 3.6 L/s m
<b>Sedimentadores circulares</b>	
Diámetro	2 a 60 m
Profundidad de agua en el tanque	2 a 4 m
Pendiente de piso	Para sedimentadores: 1:12 Para espesadores: 2:12
<b>Sedimentador de alta tasa</b>	
Tiempo de retención	1.5 a 3 h
Profundidad	4.0 a 5.5 m
Carga superficial	120 a 185 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d
Inclinación de las placas	60°
Tasa sobre el vertedor	1.7 a 3.6 L/s m
<b>Sedimentador de flujo ascensional</b>	
Tiempo de retención	2 a 4 h
Carga superficial	20 a 30 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d; < 60 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d
Altura del agua	3 a 5 m
Diámetro	< 40 m
Número de unidades	>2
<b>Sedimentador de manto de lodos</b>	
Tiempo de retención	1 a 1.5 h
Carga superficial	30 a 60 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d
Altura del tanque	4.0 a 7.0 m
Concentración del manto de lodos	10 al 20% en volumen
Altura del manto	1 a 3 m
<b>Remoción mecánica de lodos</b>	
Velocidad máxima del equipo	30 cm/min
Descarga de lodos	Automática
<b>Filtración lenta</b>	

Tabla 2.11 Parámetros de diseño para una planta de potabilización convencional (Rojas, 2000) (continuación)

Unidad de proceso	Parámetro de referencia
Tasa de filtración	2.4 a 7.2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d
Turbiedad del efluente	< 15 UTN
Color	< 20 UPT-Co
Coliformes totales/fecales	< 500
Tamaño efectivo de la arena	0.15 a 0.35 mm
Coefficiente de uniformidad	2 a 4
Espesor del lecho filtrante de arena	0.8 a 1.0 m
Densidad relativa de la grava	> 2.5
Altura del agua sobre el lecho	0.7 a 1.0 m
Velocidad a la entrada	0.1 m/h
Pérdida de carga	0.1 a 1.0 m
Número de unidades	> 2
<b>Filtración rápida</b>	
Arena-antracita	
Tasa de filtración	150 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d para lechos de arena o antracita con Te de 0.45 a 0.55 mm; 360 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d para lechos de antracita sobre arena de 0.45 a 0.55 mm; 500 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d para lechos de arena sola o antracita sola de tamaño grueso.
Espesor del lecho filtrante	> 0.6 m de altura
Pérdida de carga disponible	>2 m
Densidad de la antracita	> 1.450 kg/m <sup>3</sup>
Dureza de la antracita	>3.5 en la escala de Mohs
Lechos mezclados de arena y antracita	d <sub>1</sub> = 4 a 6 d <sub>2</sub> ; d <sub>1</sub> = diámetro de la antracita; d <sub>2</sub> = diámetro de la arena
<b>Carbón activado</b>	
Área superficial del carbón activado (tipo bituminoso)	1 400-1 800 (m <sup>2</sup> /g)
Densidad aparente del carbón activado (tipo bituminoso)	0.38-0.41 (g/cm <sup>3</sup> )
Tamaño efectivo carbón activado (tipo bituminoso)	0.85-1.05 mm
Espesor del lecho filtrante	> 0.6 m de altura
<b>Torre de desorción</b>	
Diámetro máximo de la columna en una torre empacada	3 m
Carga hidráulica en una torre empacada	2 000 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d
<b>Cloración</b>	
Dosis	Cumplir con el valor que marca la norma: 0.2 a 1.5 mg/L de cloro residual

Tabla 2.12 Parámetros de diseño adicionales para trenes de potabilización especializados (Rojas, 1999)

Unidad de proceso	Parámetro de referencia
<b>Ablandamiento</b>	
Capacidad operativa de intercambio iónico	45 a 80 g/L
Tasa de flujo	120 a 350 m/d
Tasa de regeneración	300 a 350 m/d
Dosis de regenerante	80 a 320 kg/m <sup>3</sup>
Tiempo de contacto	25 a 45 min
<b>Remoción de hierro y manganeso (por adsorción-oxidación sobre zeolita natural) (Piña, 2011)</b>	
Tiempo de contacto	2 a 3 min
Tamaño de grano	0.5 a 1.0 mm
Tasa de filtración	10 a 15 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h
Aplicación de cloro	Entrada de filtros
Tiempo de retención en el sedimentador	1 a 2 h
Tasa de retrolavado	90 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h
<b>Ósmosis inversa</b>	
Porcentaje promedio de agua de rechazo	30%
Porcentaje promedio de flujo de permeado	70%
Presión de rechazo	40-60 psi
Presión de salida	40-60 psi
Presión del sistema	225 psi
Temperatura de diseño	25°C
Concentración de sólidos disueltos totales en el influente	1 000 mg/L
Porcentaje promedio de remoción de sólidos disueltos totales (SDT)	98%
Presión de limpieza	40-60 psi
<b>Nanofiltración</b>	
Presión de operación	87 psi
Porcentaje promedio de recuperación	95%



# 3

## EVALUACIÓN DE PLANTAS POTABILIZADORAS, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

### 3.1. TIPOS DE PLANTAS DE POTABILIZACIÓN

En la tabla 3.1 se resumen las acciones y procesos de purificación de agua más utilizados. En la actualidad existe una gran variedad de sistemas de tratamiento y diversas combinaciones de operaciones unitarias para lograr una calidad de agua determinada en función de la calidad de agua de la fuente. Según Conagua (2012) en el “Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales de diciembre 2012” los principales tipos de plantas potabilizadoras en México son:

Clarificación convencional  
Clarificación de patente

Filtración directa  
Filtración lenta  
Ablandamiento  
Remoción de hierro-manganeso  
Adsorción con carbón activado  
Ósmosis inversa

Siguiendo esta referencia, a continuación se presentan los diagramas de proceso de estos tipos de plantas potabilizadoras. En primer lugar la *planta de clarificación convencional* (ilustración 3.1) que consiste en coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. En segundo lugar la *planta de remoción de hierro y manganeso* (ilustración 3.2), conformada principalmente por la oxidación, precipitación y filtración. Enseguida la *planta de remoción de*

Tabla 3.1 Procesos de potabilización de agua (Rojas, 2000)

Proceso	Propósito
Tratamiento preliminar	
Cribado	Remoción de sólidos grandes que pueden obstruir o dañar los equipos de la planta
Pretratamiento químico	Remoción eventual de algas y otros elementos acuáticos que causan sabor, olor y color
Presedimentación	Remoción de arena, limo y otros materiales sedimentables
Aforo	Medición del agua de abastecimiento por tratar
Tratamiento principal	
Aireación	Remoción de olores y gases disueltos; adición de oxígeno para mejorar sabor y oxidación de diversos elementos
Coagulación/Floculación	Conversión de sólidos no sedimentables en sólidos sedimentables
Sedimentación	Remoción de sólidos sedimentables
Ablandamiento	Remoción de dureza
Filtración	Remoción de sólidos finos, flóculos en suspensión y la mayoría de los microorganismos
Adsorción	Remoción de sustancias orgánicas y color
Desinfección	Eliminación de organismos patógenos

hierro y manganeso por adsorción-oxidación sobre zeolita natural (ilustración 3.3), la cual consta de una oxidación con cloro, filtro con zeolita, tanque de recuperación de agua de lavado de filtros y tanque de almacenamiento. También se muestra la *filtración directa* que consiste en un pretratamiento, filtración y desinfección (ilustración 3.4); la *planta de ablandamiento químico* (ilustración 3.5) la cual consta de una

adición de cal-carbonato de sodio, mezcla rápida, floculación, sedimentación, adición de  $\text{CO}_2$ , filtración y desinfección. Entre otras se mencionan la de *ablandamiento por intercambio iónico* (ilustración 3.6); la *planta de adsorción con unidad de carbón activado* (ilustración 3.7) en la que, después de un pretratamiento y filtración se realiza la adsorción con carbón activado; la *planta de potabilización con ósmosis inversa*

Ilustración 3.1 Clarificación convencional (Rojas, 2000)-Adaptación para este manual

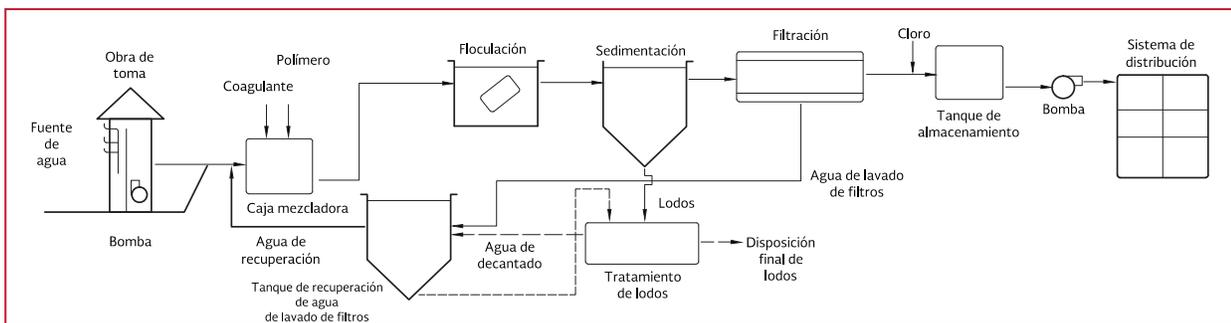


Ilustración 3.2 .Remoción de hierro y manganeso (American Water Works Asociation, 2002)-Adaptación para este manual

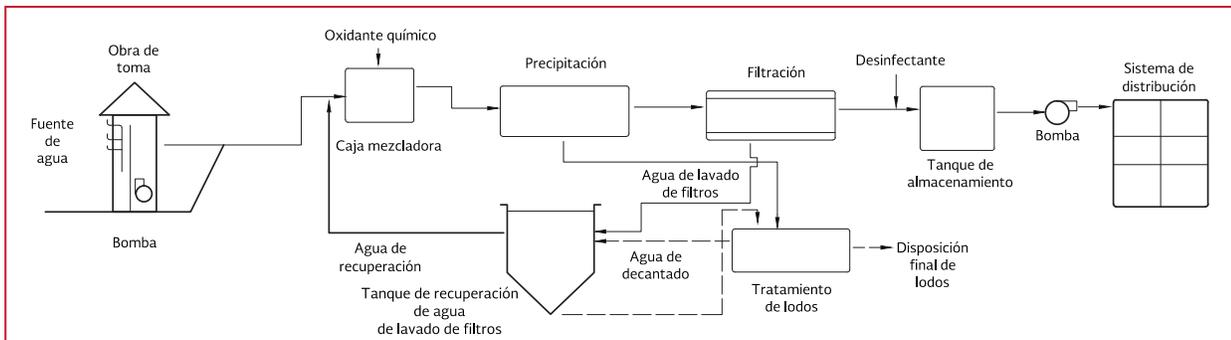
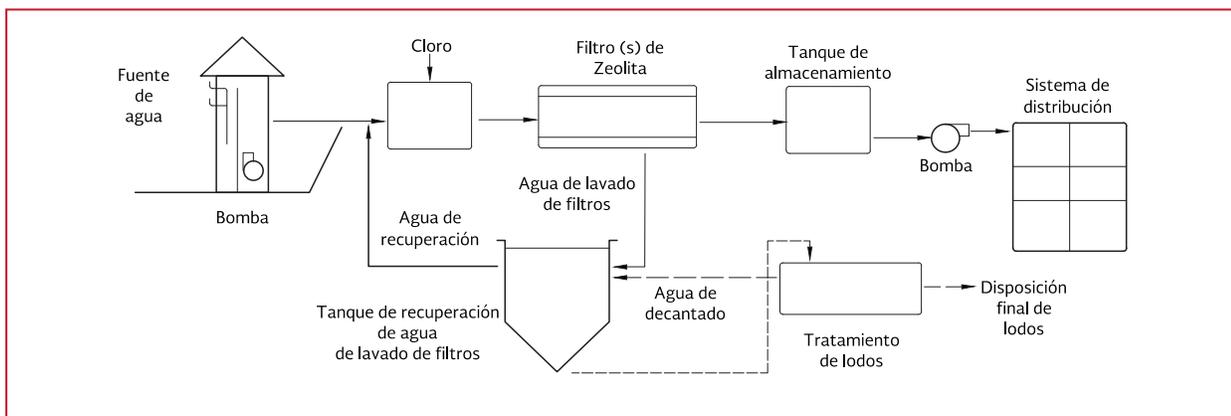


Ilustración 3.3 Remoción de hierro y manganeso por adsorción-oxidación sobre zeolita natural (Piña, 2011)-Adaptación para este manual



(ilustración 3.8), la cual consta generalmente de un pretratamiento y una unidad de ósmosis inversa. Por último, la *planta de potabilización*

*con filtración lenta* (ilustración 3.9) la cual consta de sedimentador simple, filtro lento y desinfección.

Ilustración 3.4 Filtración directa (American Water Works Association, 2002)-Adaptación para este manual

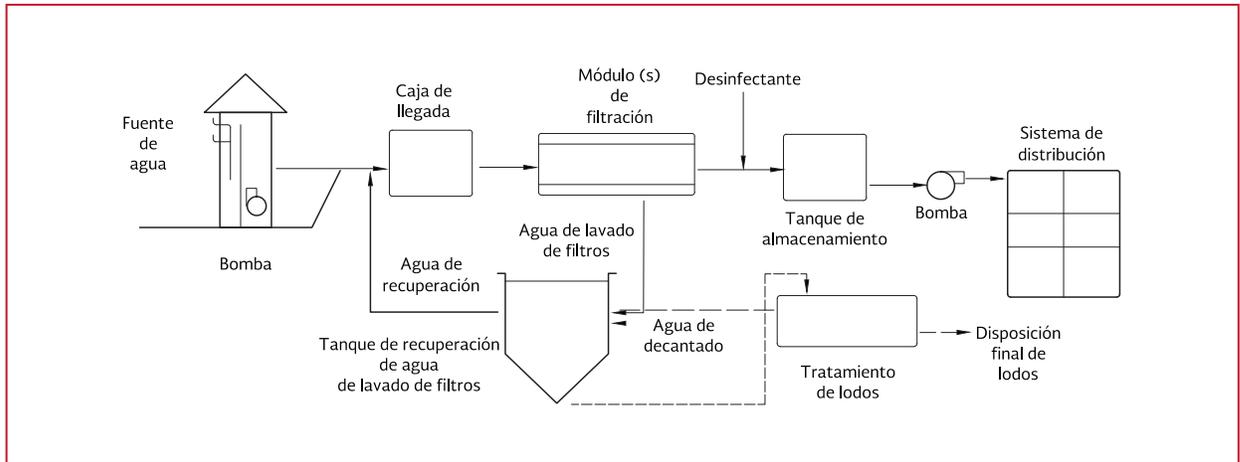


Ilustración 3.5 Ablandamiento químico (American Water Works Association, 2002)-Adaptación para este manual

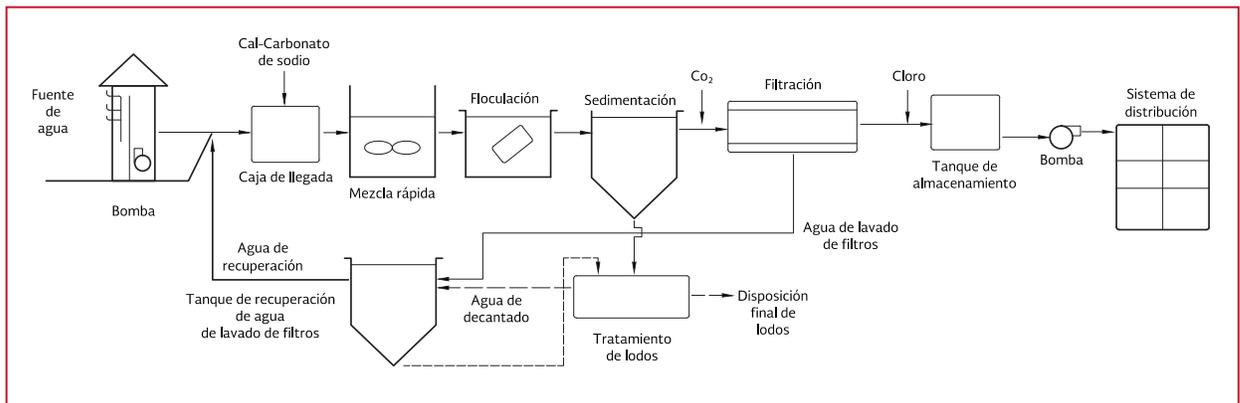


Ilustración 3.6 Ablandamiento con intercambio iónico (Rojas, 2000)-Adaptación para este manual

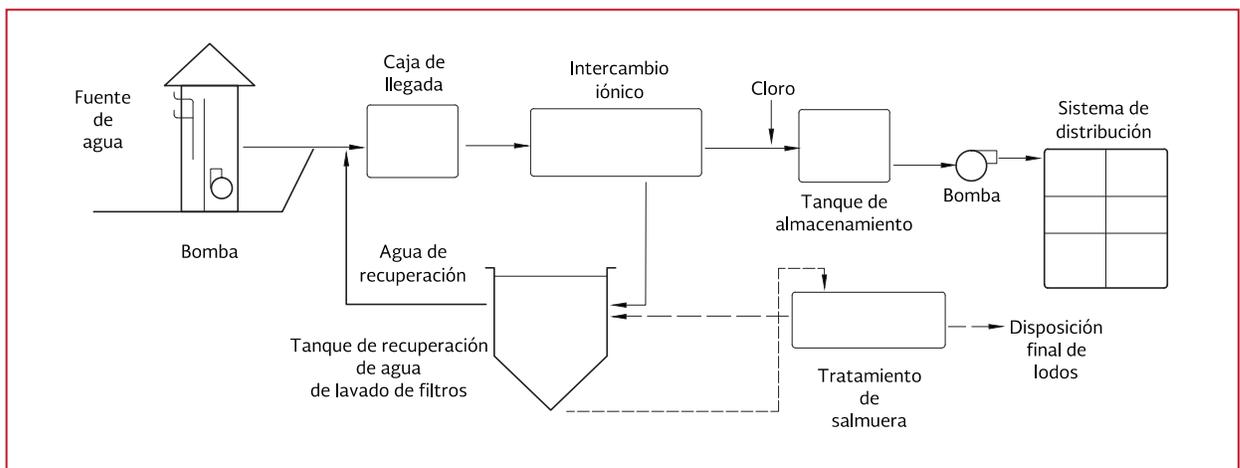


Ilustración 3.7 Adsorción con carbón activado (Rojas, 2000)-Adaptación para este manual

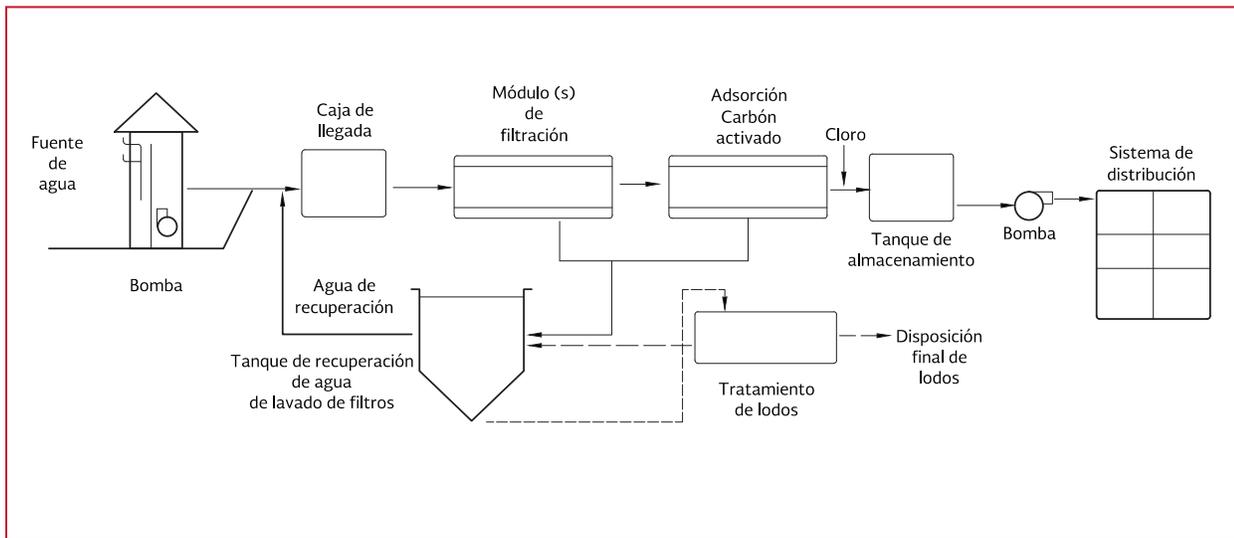


Ilustración 3.8 Ósmosis inversa (American Water Works Association, 2002)-Adaptación para este manual

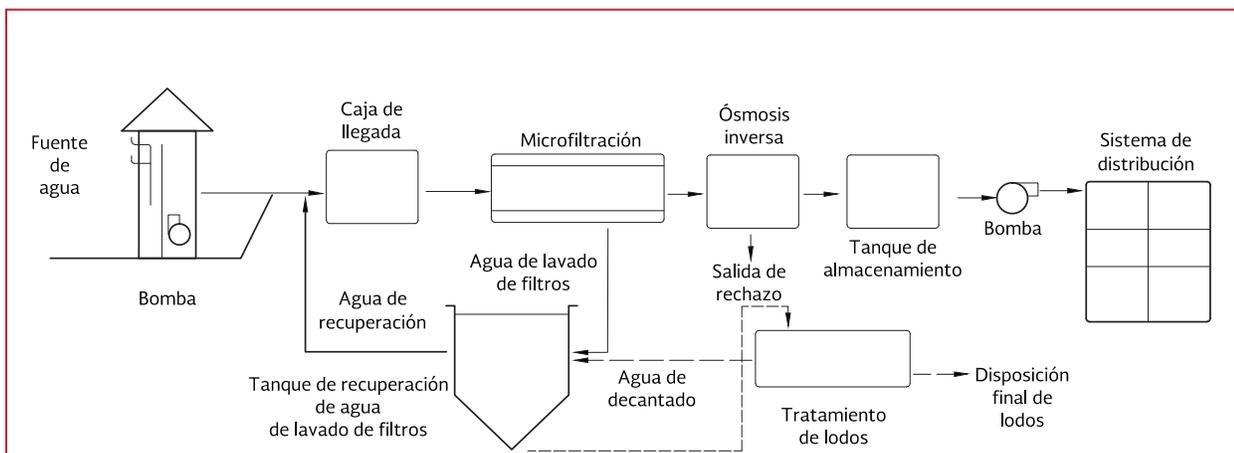
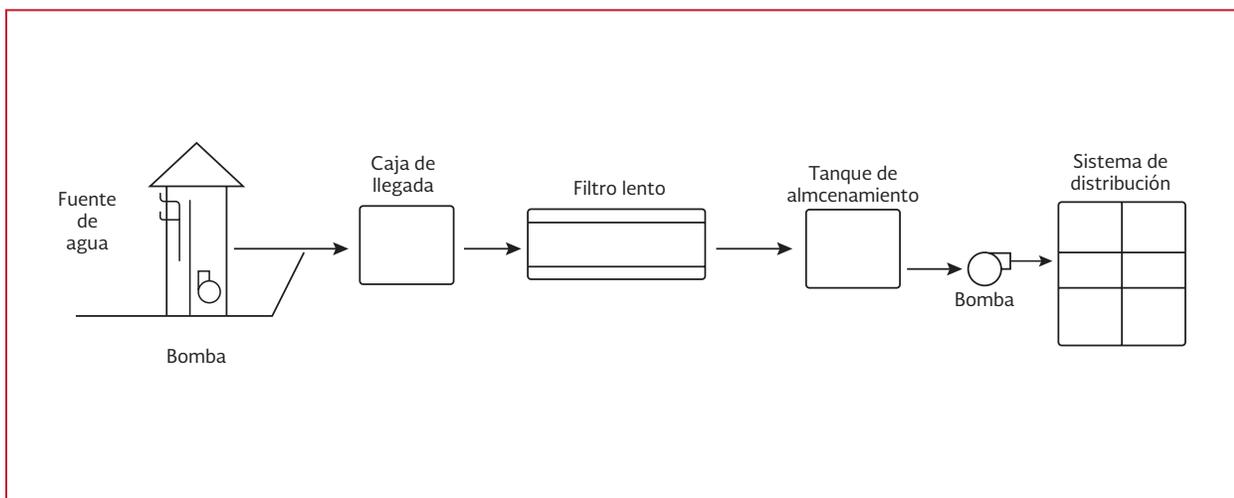


Ilustración 3.9 Filtración lenta (Rojas, 2000)-Adaptación para este manual



En las ilustraciones de la 3.10 a la 3.13 se pueden observar algunas fotografías sobre los dife-

rentes tipos de plantas potabilizadoras comentadas anteriormente.

Ilustración 3.10 Ejemplos de plantas potabilizadoras de clarificación convencional, filtración directa y filtración lenta respectivamente (Acervo IMTA)



Clarificación convencional (El Florido, módulo III, Tijuana, Baja California. Caudal de diseño: 1 500 L/s)



Clarificación convencional (El Cayaco, Acapulco, Guerrero. Caudal de diseño: 2 000 L/s)



Acueducto Sierra Santa Catarina, en Iztapalapa. Su caudal de diseño es de 500L/s y el de operación de 250 L/s



Filtración directa (La Caldera, Del. Iztapalapa, México D.F. Caudal de diseño: 600 L/s)



Filtración lenta (Peregrina, Guanajuato. Caudal de diseño: 0.7 L/s)



Filtración lenta (Villa Nicolás Zapata, Morelos. Caudal de diseño: 0.53 L/s)

Ilustración 3.11 Ejemplos de plantas potabilizadoras de ablandamiento, adsorción con carbón activado y remoción de hierro-manganeso (Acervo IMTA)



Ablandamiento (San Felipe, Puebla. Caudal de diseño: 360 L/s)



Ablandamiento (Quetzalcoátl, Cholula Puebla. Caudal de diseño: 185 L/s)



Adsorción con carbón activado (Acueducto Sierra Santa Catarina, Del. Iztapalapa, México D.F. Caudal de diseño: 500 L/s)



Adsorción con carbón activado y ósmosis inversa (Santa Catarina 13, Del. Iztapalapa, México D.F. Caudal de diseño: 60 L/s)



Remoción de hierro-manganeso (Peñon Texcoco, Estado de México. Caudal de diseño: 650 L/s)



Remoción de hierro-manganeso (Peñon Texcoco, Estado de México. Caudal de diseño: 650 L/s)

Ilustración 3.12 Ejemplos de planta potabilizadora de ósmosis inversa



Ósmosis inversa (Santa Catarina 10, Del. Iztapalapa, México D.F. Caudal de diseño: 60 L/s)



Ósmosis inversa (Santa Catarina 8 y 9, Del. Iztapalapa, México D.F. Caudal de diseño: 100 L/s)

Ilustración 3.13 Ejemplo de planta potabilizadora de patente



Clarificación de Patente (Zapata, Morelos. Caudal de diseño: 25 L/s)

### 3.2. IDENTIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

A continuación, en las tablas 3.2 a la 3.11 se mencionan las principales unidades que conforman los diversos trenes de proceso de potabilización. También se mencionan algunos problemas que

podieran presentarse en ellos, así como algunas soluciones sugeridas.

#### Medidores de caudal

##### Coagulación

En la tabla 3.3 se presentan las causas más comunes que provocan deficiente mezcla rápida o dosificación de reactivos coagulantes deficien-

Tabla 3.2 Problemáticas y soluciones de medidores de caudal (IMTA, 2004)

Causas	Pruebas de identificación	Soluciones
Canal aforador Parshall Problemática: canal Parshall ahogado		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gasto de diseño menor al rango de gasto utilizado.</li> <li>- Nivel aguas abajo más elevado del requerido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medir el tirante del agua a la entrada del aforador antes de la garganta (Ha) y el tirante cerca del extremo final de la garganta (Hb).</li> <li>- No se produce resalto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modificar niveles del canal Parshall</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gasto de operación mayor al de diseño.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medir el nivel del agua y aplicar fórmula para aforador Parshall.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volver a diseñar u operar con el caudal de diseño y colocar una compuerta de demasías.</li> </ul>
Vertedor tipo rectangular o trapezoidal Problemática: medición incorrecta		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carga hidráulica mayor a un tercio de la longitud de cresta para los vertedores rectangulares o trapezoidales.</li> <li>- Canal azolvado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medir el tirante en la cresta del vertedor y aplicar fórmula.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colocar el vertedor en una sección del canal donde la velocidad del flujo sea uniforme y no mayor de 0.40 m/s, con un tramo recto de por lo menos diez veces la longitud de la cresta.</li> <li>- Desazolver el canal periódicamente aguas arriba del vertedor.</li> </ul>
Molinete Problemática: no se escucha el sonido provocado por la rotación de las copas, o éste es irregular		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Audífonos descompuestos.</li> <li>- Mala conexión del molinete con los audífonos.</li> <li>- Pila agotada.</li> <li>- Posición incorrecta del molinete.</li> <li>- Cambios bruscos en la velocidad del flujo debido a turbulencias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparar con un molinete de referencia calibrado ante el Centro Nacional de Metrología (CNM).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar que la pila esté en buenas condiciones y que la conexión con el molinete sea correcta.</li> <li>- Colocar una marca en una de las copas y contar visualmente el número de vueltas por minuto.</li> <li>- Verificar que el molinete se encuentre en sentido perpendicular al flujo.</li> </ul>
Problemática: medición incorrecta del gasto		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipo mal calibrado.</li> <li>- Equipo con golpes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparar con un molinete de referencia calibrado ante el CNM.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calibración periódica.</li> <li>- Utilizarse en el rango de velocidad apropiado (entre 0.1 y 2.5 m/s).</li> </ul>

Tubo Pitot  
Problemática: lecturas erróneas en la diferencia de presiones

Tabla 3.2 Problemáticas y soluciones de medidores de caudal (IMTA, 2004) (continuación)

Causas	Pruebas de identificación	Soluciones
<ul style="list-style-type: none"> <li>- El medidor no está adecuadamente colocado dentro de la tubería.</li> <li>- La tubería no se encuentra totalmente llena.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicar la fórmula. Comparar con otro medidor calibrado por el CNM.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ubicar el sitio de medición donde se asegure una distribución uniforme del gasto (de preferencia a una distancia superior a veinte diámetros de cualquier accesorio existente en la línea aguas arriba).</li> </ul>
<p>Medidor Venturi Problemática: lecturas erróneas en la diferencia de presiones</p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las mismas que el tubo Pitot.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicar la fórmula.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar que el tubo se encuentre lleno, sin burbujas ni remolinos.</li> <li>- Debe colocarse en un tramo recto.</li> </ul>
<p>Medidor tipo tobera Problemática: lecturas erróneas en la diferencia de presiones</p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las mismas que el tubo Pitot.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicar la fórmula. Comparar con otro medidor calibrado por el CNM.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar que el tubo se encuentre lleno, sin burbujas ni remolinos.</li> <li>- Debe colocarse en un tramo recto.</li> </ul>
<p>Medidor de orificio Problemática: lecturas erróneas en la diferencia de presiones.</p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orificio obstruido.</li> <li>- El medidor no está adecuadamente colocado dentro de la tubería.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicar la fórmula. Comparar con otro medidor calibrado por el CNM.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar que se instale en un tramo recto.</li> <li>- Verificar que no esté obstruido por sólidos del fluido.</li> </ul>
<p>Medidores por percepción ultrasónica Problemática: Lecturas erróneas del gasto</p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevada concentración de sólidos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicar la fórmula. Comparar con otro medidor calibrado por el CNM.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar que esté instalado en un tramo recto equivalente a diez diámetros aguas arriba y cinco diámetros aguas abajo.</li> <li>- No debe haber cambios bruscos de presión que originen burbujas.</li> <li>- Verificar que esté adecuadamente aislado del ruido y de vibraciones.</li> </ul>
<p>Medidores por percepción magnética Problemática: lecturas erróneas del gasto</p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colocación o instalación inadecuada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicar la fórmula. Comparar con otro medidor calibrado por el CNM.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificar que se encuentre funcionando dentro del rango de velocidades de diseño.</li> <li>- Instalarlo en tramo recto, según la recomendación del fabricante.</li> <li>- Verificar que esté aislado adecuadamente.</li> <li>- Cinco diámetros antes y cuatro diámetros después de la tubería.</li> </ul>

tes en las plantas potabilizadoras. También se muestran las pruebas con las que pueden ser identificadas y las posibles soluciones. Es de suma importancia el contar con programas de

mantenimiento de las unidades de mezcla y dosificación que garanticen el adecuado funcionamiento de los mismos.

## Floculación

En la tabla 3.4 se pueden observar diferentes problemáticas que se pudieran presentar durante la floculación. Éstas son la formación in-

adecuada del flóculo, el depósito de sólidos en la unidad de floculación y las zonas muertas. Así mismo se mencionan algunas posibles soluciones para cada uno de los problemas.

Tabla 3.3 Recopilación de problemas y soluciones en la coagulación y dosificación de reactivos (IMTA, 2004)

Causas	Pruebas de identificación	Soluciones
<b>Problemática: Baja remoción de turbiedad o color en el efluente</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Condiciones inadecuadas de mezcla rápida.</li> <li>- Gradiente de velocidad de mezcla rápida no apropiado.</li> <li>- Tiempo de mezcla rápida inadecuado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinación de coeficiente de aglomeración aparente a nivel laboratorio y planta.</li> <li>- Medición de gradiente de mezcla rápida G y tiempo de residencia t en planta.</li> <li>- Comparar valores de campo con los recomendados para el tipo de mezclador, tipo de coagulante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modificación de unidades de mezcla rápida y condiciones de operación recomendadas.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Punto incorrecto de aplicación de sustancias químicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspección del punto de aplicación de sustancias químicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicación del coagulante en el punto de máxima turbulencia.</li> <li>- Para el caso de mezcladores mecánicos aplicar el coagulante cerca del eje de los impulsores.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Secuencia inadecuada de aplicación de sustancias químicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensayo de prueba de jarras para determinar la secuencia adecuada de aplicación de sustancias químicas.</li> <li>- Inspección y comprobación de la secuencia real de aplicación de sustancias químicas en la planta.</li> <li>- Verificación de dosificadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modificación de la secuencia de aplicación de sustancias químicas de acuerdo a los resultados de ensayos de laboratorio.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de coagulante inadecuado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensayo de prueba de jarras para determinar eficiencia de coagulantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seleccionar el coagulante de mayor eficiencia técnico-económica de acuerdo a ensayos de laboratorio.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de coagulante de calidad deficiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis químicos de los coagulantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Llevar a cabo control de calidad de coagulantes antes de recibirlos.</li> <li>- Cambio de proveedor de coagulante.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dosis inadecuada de sustancias químicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar pruebas de jarras para determinar las dosis adecuadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Practicar ensayos periódicos de pruebas de jarras.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Subdosificación o sobredosificación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dosis óptima de coagulante (usando el mismo coagulante que se aplica en la planta) y comparación con la utilizada en la planta.</li> <li>- Determinar la eficiencia del dosificador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jarras o en cuanto se detecte variación de la calidad del agua cruda.</li> <li>- Calibración periódica del dosificador</li> <li>- Modificación de la cantidad de reactivos aplicados.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Condiciones de pH no adecuadas en la coagulación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prueba de laboratorio para determinar el pH óptimo y compararlo con planta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si es necesario, aplicar modificador de pH de acuerdo a resultados de laboratorio.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentración inadecuada de las soluciones de reactivos aplicados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensayos de laboratorio para determinar concentración óptima.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preparación correcta de solución.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo de residencia inapropiado en el tanque de preparación de la solución del coagulante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medir tiempo real de residencia en el tanque de disolución.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modificación de tiempos de residencia o configuración del tanque.</li> </ul>

Tabla 3.4 Recopilación de problemas y soluciones en los floculadores (IMTA, 2004)

Causas	Pruebas de identificación	Soluciones
<b>Problemática: floculo ligero y poco sedimentable (baja remoción en sedimentación o filtración)</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parámetros operacionales de floculación que no cumplen con recomendación: gradientes decrecientes en el rango de 80 a 20 s<sup>-1</sup> y tiempos entre 15 y 30 min.</li> <li>- Gradientes de velocidad muy altos en la mezcla rápida (G &gt; 5,000 s<sup>-1</sup>).</li> <li>- Conexión inadecuada entre mezcla rápida y floculación con G &gt; 150 s<sup>-1</sup>.</li> <li>- Selección errónea del tipo de floculador.</li> <li>- Número inadecuado de cámaras en el floculador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caracterización del floculo (tamaño, dispersión, sedimentabilidad).</li> <li>- Medición del tiempo real de formación del floculo en planta y el tiempo óptimo en laboratorio.</li> <li>- Medición de gradientes (G) y tiempos de residencia (t) en planta.</li> <li>- Determinación de parámetros óptimos en laboratorio (G y t).</li> <li>- Comparar valores de campo con los de laboratorio.</li> <li>- Excesiva turbulencia en los pasos entre cámaras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modificación de unidades de floculación con base en los parámetros óptimos resultado de las pruebas de laboratorio y acordes a características del agua cruda y los requisitos de la sedimentación y filtración.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variación del caudal de diseño y características del agua cruda.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis fisicoquímicos para caracterización del agua cruda.</li> <li>- Determinación del gasto de operación.</li> <li>- Evaluación de la eficiencia de remoción del tren floculación - sedimentación - filtración en turbiedad o color.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalación de dispositivos para medición del gasto de entrada.</li> <li>- Modificación o cambio del tipo de floculador para responder a las variaciones de caudal y calidad del agua.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Condiciones inadecuadas de mezcla rápida y dosificación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificación de procedimientos operacionales usados.</li> <li>- Medición de gradientes de velocidad (G) en mezcla rápida e interconexión a floculadores.</li> <li>- Verificación de dosificadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modificación y optimización de la mezcla rápida y dosificación.</li> </ul>
<b>Problemática: depósito de sólidos en la unidad de floculación</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto contenido de material sedimentable en agua cruda, como limo, arcillas y arena.</li> <li>- Falta de unidades de acondicionamiento, como desarenadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detección de arena y lodos en el fondo de floculadores, principalmente al inicio de la unidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalación o mejoramiento de acondicionamiento previo (presedimentación).</li> <li>- Mejorar prácticas operacionales.</li> <li>- Programación de mantenimiento preventivo (limpieza de tanques).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Motores en paro y por consiguiente cámaras de floculadores mecánicos sin agitación.</li> <li>- Falta de paletas en floculadores mecánicos.</li> <li>- Velocidad del agua menor a 0.3 m/s.</li> <li>- Gradiente de velocidad menor a 20 s<sup>-1</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detección de lodo en el fondo de floculadores (a veces con olor séptico).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mantenimiento correctivo de motores y paletas de agitación.</li> <li>- Aumentar la velocidad en canales o cámaras del floculador reduciendo su sección o aumentando la velocidad de las paletas.</li> <li>- Modificación de los tanques y mamparas para evitar zonas muertas y obtener flujo tipo pistón.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existencia de zonas muertas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trazadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Programación del mantenimiento preventivo para equipo electromecánico de agitación y limpieza en tanques.</li> </ul>
<b>Problemática: cortos circuitos y zonas muertas. Tiempo de retención diferente al óptimo</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseño geométrico inadecuado.</li> <li>- Bajo número de cámaras o compartimentos (menor a 3).</li> <li>- Tipo y ubicación inapropiada de estructuras de entrada, salida e interconexión en cámaras.</li> <li>- Sentido de rotación inadecuado en floculadores mecánicos de acuerdo a la geometría del tanque.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensayo de trazadores para determinar características hidráulicas: tiempo de retención, cortocircuitos y zonas muertas.</li> <li>- Inspección visual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modificar unidad de floculación hidráulica mediante mamparas y compartimentación para asemejar flujo tipo pistón.</li> <li>- Modificar entrada, salida e interconexiones en floculador.</li> </ul>

## Sedimentación

Los problemas que con mayor frecuencia se presentan en un sedimentador y que influyen en la eficiencia del tratamiento del agua son varios. Uno de ellos puede darse por el diseño inadecuado de estructuras tales como la interconexión floculador-sedimentador. Otros pueden ser por prácticas inadecuadas de operación como purga de lodos, variación en la calidad y flujo del agua etc..

En la tabla 3.5 se presenta un resumen de los problemas más frecuentes en los sedimentadores, su identificación y posibles soluciones.

## Filtración

Entre las causas más comunes que generan mal funcionamiento del proceso de filtración, se pueden mencionar la baja eficiencia de procesos anteriores, tasa de filtración inadecuada, variación brusca de la pérdida de carga y duración inadecuada de la carrera de filtración. Además pueden darse otras como deficiencia en el lavado, tasa de lavado inadecuada, duración inadecuada del periodo de lavado y pérdida del lecho filtrante. En la tabla 3.6 se presenta un resumen de los problemas más frecuentes en los filtros, su identificación y posibles soluciones.

Tabla 3.5 Recopilación de problemas y soluciones en los sedimentadores (IMTA, 2004)

Causa	Pruebas de identificación	Soluciones
Problemática: turbiedad del agua de salida mayor a 10 UTN		
Condiciones de operación de la mezcla rápida o floculación inadecuadas.	Observar las características de sedimentación del floculo, dispersión, tamaño y tiempo de sedimentación.	Cambiar gradientes en mezcla rápida o floculación.
Interconexión floculador sedimentador con gradiente mayor a los de la última cámara del floculador.	Ruptura de floculos. Determinar gradiente en la interconexión.	Modificar la interconexión.
Configuración inadecuada de entrada y distribución de agua. Faltan o están mal nivelados los vertedores de salida del agua sedimentada o los orificios están tapados.	Arrastre de floculos. Velocidad de salida del agua no homogénea en toda la superficie del sedimentador. Realizar caracterización del agua cruda. Lodo en la superficie.	Modificar la configuración de entrada y distribución de agua. Reposición o nivelación de vertedores. Destapar orificios.
Variación en la calidad o flujo del agua.	Realizar prueba de jarras evaluando tamaño del floculo, carga superficial y turbiedad.	Ajustar dosis de coagulante. Cambiar de coagulante. Adicionar ayudante de coagulación. Realizar purga de lodos.

Tabla 3.6 Recopilación de posibles problemáticas y soluciones en la filtración (IMTA, 2004)

Causas	Pruebas de identificación	Soluciones
<b>Problemática: baja eficiencia de procesos anteriores</b>		
Deficiencias de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación. Caudal de trabajo superior al de diseño. Retrolavado deficiente. Mantenimiento deficiente de filtros.	Calidad del agua durante el ciclo de filtración (influyente-efluente). Índice de penetración de Hudson. Índice de dureza del flóculo. Granulometría y espesor de lecho.	Pruebas de tratabilidad para mejorar el pretratamiento. Modificar el lecho filtrante: aumentar el espesor o colocar un lecho dual. Mejorar el mantenimiento de las instalaciones de filtración. Modificar el procedimiento de retrolavado.
<b>Problemática: tasa de filtración inadecuada</b>		
Caudal de trabajo superior al de diseño. Mala calibración de medidores de caudal. Mala repartición de caudal en los diferentes filtros.	Tasa y caudal de filtración.	Control del caudal influente a cada filtro. Mantenimiento y calibración de medidores de caudal.
<b>Problemática: variación brusca de la pérdida de carga</b>		
Deterioro del lecho filtrante (grietas, bolas de barro). Inadecuado funcionamiento de sifones de salida. Variaciones bruscas en la tasa de filtración.	Fluctuaciones de la pérdida de carga.	Sustitución del lecho filtrante. Descarga libre que sustituya a los sifones. Modificar procedimiento de operación: evitar variaciones bruscas en la tasa de filtración.
<b>Problemática: duración inadecuada de la carrera de filtración</b>		
Alta carga de materia en suspensión. Presencia de algas. Flóculo de características deficientes. Baja penetración del flóculo; formación de torta de lodos sobre el lecho. Material filtrante fino. Baja eficiencia en el retrolavado.	Pérdida de carga. Calidad del agua. Número de Mintz. Índice de Hudson. Índice de dureza del flóculo. Granulometría y espesor de lecho.	Pruebas de tratabilidad para mejorar el pretratamiento. Modificar la dosis de coagulantes y ayuda de coagulación. Eliminar algas con preoxidación. Modificar la granulometría del lecho.
<b>Problemática: colmatación del filtro con aire</b>		
Presiones negativas. Bajas temperaturas del agua. Introducción de burbujas de aire durante el retrolavado.	Pérdida de carga y fluctuaciones de la misma.	Incrementar la carga de agua sobre el medio filtrante. Provocar la expansión del lecho antes de concluir la carrera del filtro, para permitir el escape del aire atrapado en el lecho.
<b>Problemática: tasa de lavado inadecuada</b>		
Capacidad inadecuada del sistema de lavado (volumen y carga). Obstrucciones en el drenaje. Lecho en mal estado. Empleo de mayor o menor número de filtros al requerido en instalaciones de lavado mutuo. Espreas en mal estado. Mantenimiento inadecuado.	Inspección visual. Velocidad de lavado.	Inspección del falso fondo y corrección de averías. Modificación del sistema de lavado y falso fondo. Reposición de espreas en mal estado. Determinación y aplicación del caudal (tiempo y carga) de lavado.
<b>Problemática: duración inadecuada del periodo de lavado</b>		

Tabla 3.6 Recopilación de problemas y soluciones en los sedimentadores (IMTA, 2004) (continuación)

Causas	Pruebas de identificación	Soluciones
Falta de capacidad de los tanques de almacenamiento de agua de lavado. Procedimiento de lavado inadecuado.	Duración del proceso de lavado. Calidad del agua al inicio del ciclo.	Incremento en la capacidad de almacenamiento de agua de lavado. Modificación del procedimiento de lavado. Empleo del periodo óptimo de lavado.
<b>Problemática: pérdida del lecho filtrante</b>		
Mala ubicación y dimensiones de la canaleta de recolección. Medio filtrante ligero. Alta tasa de lavado. Malas condiciones del medio filtrante.	Expansión del lecho. Revisión de la canaleta de recolección. Tasa de lavado. Inspección visual.	Sustitución del material filtrante por otro más grueso. Reacomodo o sustitución del lecho de soporte. Modificación del sistema de lavado: reposición de espumas en mal estado. Inspección del falso fondo y corrección de averías.
<b>Problemática: presencia de bolas de barro o grietas</b>		
Baja velocidad de lavado. Mala distribución del agua de retrolavado. Insuficiente periodo de lavado. Mantenimiento inadecuado del sistema de lavado. Baja intensidad de lavado.	Inspección visual.	Sustitución del medio filtrante. Cambio del lecho de soporte. Modificación del sistema de lavado. Modificación del procedimiento de lavado: aplicación de la tasa mínima de fluidificación y de lavado superficial.
<b>Problemática: pérdidas de agua en los filtros</b>		
Mantenimiento inadecuado.	Inspección visual. Determinación de caudales a la entrada y salida de los filtros.	Reparación de tuberías, válvulas y compuertas.

### ***Ablandamiento químico***

Cuando no se logra el ablandamiento es posible que se requiera un mayor tiempo de contacto. Circunstancias referentes al ablandamiento y sus soluciones se muestran en la tabla 3.7.

### ***Remoción de hierro y manganeso***

En el proceso de remoción de hierro y manganeso se puede presentar una remoción insuficiente en la aireación-filtración. También es posible que una vez oxidados presenten flóculos muy pequeños, entre otras problemáticas (tabla 3.8).

Tabla 3.7 Problemas y soluciones de los procesos de ablandamiento (Rojas, 1999)

Causas	Pruebas de identificación	Posible solución
<b>Problemática: no se logra el ablandamiento deseado</b>		
- Se requiere un tiempo de residencia antes de que comience el ablandamiento. Puede indicar mal funcionamiento del reactivo alcalino.	- Verificar relación de estequiometría entre lo que se va a precipitar y lo que se está adicionando de cal, sosa y carbonato de sodio.	- Ajustar dosificación de reactivos.

Tabla 3.8 Problemas y soluciones de los procesos de remoción de hierro y manganeso (Rojas, 1999)

Causas	Prueba de identificación	Soluciones
Problemática: remoción de hierro y manganeso insuficiente en la aireación-filtración.		
La velocidad de reacción depende del pH de la solución, siendo más rápida a valores de pH altos. El manganeso tiene una velocidad de oxidación muy lenta.	Determinar el pH óptimo de oxidación.	Para disminuir la concentración de manganeso al nivel deseado cuando se trata de una sustancia oxidante más potente que la aireación, se requiere un tiempo de reacción y un tratamiento químico adicional. Algunas veces se usan tanques de sedimentación con dispositivos de colección y remoción de lodos en vez de tanques de retención simples.
Problemática: hierro y manganeso una vez oxidados presentan tamaños de flocúlos muy pequeños que no se retienen en los medios granulares de los filtros		
Insuficiente tamaño y cantidad para formar aglomeración.	Prueba visual de la precipitación del manganeso o hierro oxidados.	Aplicación de sustancias químicas (coagulantes o floculantes) para aglomerar las partículas oxidadas y lograr filtrarlos.

Tabla 3.9 Problemas y soluciones en la unidad de proceso ósmosis inversa (American Water Works Association, 2007)

Causas	Prueba de identificación	Soluciones
Problemática: baja presión en la entrada		
Baja presión de suministro.	Alarma de baja presión. Lectura en manómetro. Lectura de sensores de presión.	Corregir la presión de entrada. Revisar bomba. Revisar nivel del tanque.
Cartuchos de filtros saturados.	Alto diferencial de presión.	Cambiar cartuchos.
Mal funcionamiento de válvula solenoide.	Verificar el flujo que controla la válvula.	Reemplazar o reparar la válvula solenoide.
Problemática: bajo flujo de permeado		
Baja temperatura del agua.	Termómetro.	Ajustar la temperatura del agua.
Baja presión del sistema.	Manómetro.	Ajustar la válvula de presión.
Membranas sucias.	Incremento del diferencial de presión. Incremento en la presión de alimentación. Disminución en el flujo de permeado.	Limpieza de membranas.
Problemática: bomba de alta presión ruidosa		
Bajo flujo de entrada.	Problemas con la bomba o alguna válvula.	Ver baja presión en la entrada.
Problemática: baja calidad del agua de permeado		
Bajo flujo de entrada.	Problemas con la bomba o alguna válvula.	Ajustar la válvula de control.
Baja presión en el sistema.	Problemas con la bomba, caída de presión.	Ajustar la válvula de control.
Recuperación muy alta.	Que el flujo sea mayor al de rechazo.	Reducir la recuperación.
Membranas saturadas.	Bajo flujo o alta presión; membranas saturadas	Limpieza de membranas automáticamente.
Membranas dañadas.	Alta conductividad eléctrica en el permeado o bajo rechazo.	Reemplazo de membranas.

## Ósmosis inversa

En los equipos de ósmosis inversa es recomendable seguir un procedimiento de man-

tenimiento y evitar problemas como baja presión en la entrada, bajo flujo de permeado, o baja calidad en el permeado entre otros (tabla 3.9).

Tabla 3.10 Recopilación de problemas y soluciones del proceso de oxidación (IMTA, 2004)

Causas	Pruebas de identificación	Soluciones
<b>Problemática: incremento en el nivel de organismos coliformes</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cloro residual bajo.</li> <li>- Tiempos de contacto insuficientes en la cámara de contacto.</li> <li>- Mala calibración del equipo de cloración.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demanda de cloro.</li> <li>- Prueba de trazadores para definir zonas muertas y cortos circuitos.</li> <li>- Curva de calibración del equipo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumentar la dosis de cloro.</li> <li>- Instalar mamparas en la cámara para aumentar el tiempo de contacto.</li> </ul>
<b>Problemática: crecimiento de algas en tanques floculadores y sedimentadores</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Materia orgánica presente en el agua cruda.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demanda de cloro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicación de un oxidante al agua cruda (de preferencia no utilizar cloro).</li> </ul>
<b>Problemática: disminución de la concentración de cloro residual</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incremento de la cantidad de material oxidable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demanda de cloro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicación de un oxidante al agua cruda (de preferencia no utilizar cloro).</li> <li>- Aumentar la dosis de cloro.</li> </ul>

## Desinfección

Tabla 3.11 Recopilación e identificación de problemas y posibles soluciones en los cloradores (IMTA, 2004)

Causas	Prueba de identificación	Soluciones
<b>Problemática: presión insuficiente del gas cloro en el clorador</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Velocidad de extracción mayor que la permitida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las líneas de abastecimiento de cloro de los cilindros se encuentran muy frías o se están congelando.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desarmar la tubería alimentadora de cloro en el punto donde se inició el enfriamiento.</li> <li>Bajar la cantidad de extracción o bien instalar sistema de evaporación.</li> </ul>
<b>Problemática: ausencia de presión del gas en el clorador, cuando los cilindros llenos están conectados al sistema abastecedor de cloro</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Válvula reductora de presión (VRP) atascada o malograda.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El medidor de presión de gas del clorador marca cero; la válvula de entrada y todas las demás e inclusive la del cilindro están abiertas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Revisar la válvula externa reductora de la presión del cloro instalada a continuación de los cilindros de cloro.</li> <li>Reparar la válvula reductora que se encuentra atascada, probablemente por las impurezas inherentes del gas cloro.</li> </ul>
<b>Problemática: imposibilidad de operar el clorador debido a que el rotámetro se congela y el indicador de velocidad de alimentación es errático</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Cilindro defectuoso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Toda la línea de suministro de cloro situada después del cilindro también está congelada, aunque los cilindros se encuentran casi a la temperatura del ambiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cerrar la válvula principal de emisión de todos los cilindros y evacuar el cloro de la tubería alimentadora hasta que el medidor de presión del clorador marque cero.</li> </ul>
<b>Problemática: el clorador no suministra cloro aun cuando todo el sistema aparentemente funciona de manera normal</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mayor temperatura en el ambiente en que se encuentra el cilindro que en el de la sala del clorador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El medidor del cloro marca una presión normal pero el medidor del inyector de vacío indica un vacío más elevado de lo normal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Revisar si existe una obstrucción en la línea del gas cloro cerca o en el cartucho de ingreso de la válvula reductora de presión del cloro.</li> </ul>

Tabla 3.11 Recopilación e identificación de problemas y posibles soluciones en los cloradores (IMTA, 2004) (continuación)

Causas	Prueba de identificación	Soluciones
Problemática: excesivo olor a cloro en el punto de aplicación		
Baja presión en el punto de aplicación.	Compruebe la concentración de la solución de cloro. El aire sobre el área del difusor de cloro reacciona con la solución de amoníaco produciendo nubes de humo blanco que indican fuga de cloro molecular.	Si el difusor de cloro se sitúa debajo del eyector, conduce a una carga negativa en la línea de solución. Se debe instalar un medidor de solución de cloro a presión con diafragma protector especial.
Problemática: el clorador no suministra suficiente cloro para producir un residual adecuado en el punto de muestreo.		
Capacidad escasa o falta de mantenimiento.	Muestreos rutinarios en un punto, indican que en algunas horas del día existe un residual adecuado pero en otros momentos no.	Las piezas de control automático del clorador deberán ser reparadas por el personal de reparaciones de campo del fabricante. En caso necesario se debe incrementar la capacidad y limpiar la cámara de contacto de cloro.

### 3.3. GUÍA DE EVALUACIÓN

La metodología de evaluación se llevó a cabo siguiendo los componentes de recopilación de la información, sistematización y evaluación general.

La guía de evaluación es una herramienta que permite recopilar la información en las diferentes plantas potabilizadoras a evaluar. Ello permite sistematizar y analizar los datos, y realizar la evaluación.

La guía de evaluación consta de los siguientes componentes:

- a) Ficha de datos generales de la planta potabilizadora
- b) Recorrido en planta, operación y evaluación de las unidades de proceso
- c) Laboratorio

- d) Cumplimiento del parámetro de interés en remoción según la Modificación a la NOM-127-SSA1-1994
- e) Manejo de productos químicos
- f) Políticas de mantenimiento (infraestructura, funcionamiento de unidades de proceso y equipos electromecánicos)
- g) Procedimientos especiales (situaciones de emergencia)
- h) Personal operativo y supervisión (registros y reportes)
- i) Administración
- j) Grado de capacitación del personal de la planta

- a) **Ficha de datos generales de la planta potabilizadora.** El proceso de aplicación de la guía de evaluación inicia con el llenado de la ficha técnica de datos generales de la planta potabilizadora, por parte del responsable de la planta. Estos datos son:

Fecha de la visita \_\_\_\_\_

Nombre y datos generales del contacto que informa \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Nombre de la planta potabilizadora \_\_\_\_\_

Ubicación de la planta potabilizadora \_\_\_\_\_

Coordenadas geográficas \_\_\_\_\_

Localidades a las que abastece \_\_\_\_\_

Tipo de planta potabilizadora

a) Clarificación convencional

b) Filtración directa

c) Filtración lenta

d) Ósmosis inversa

e) Ablandamiento

f) Carbón activado

g) De patente o paquete

h) Remoción de hierro y manganeso

Año de construcción de la planta potabilizadora \_\_\_\_\_

Año en que entró en operación la planta potabilizadora \_\_\_\_\_

Número de operadores que laboran en la planta \_\_\_\_\_

Entidad administrativa a la que pertenece la planta potabilizadora \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Datos históricos de calidad de agua cruda y tratada (anexar reportes) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Reseña histórica y contexto actual de la planta potabilizadora \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Características de la fuente de suministro

a) Pozo profundo

b) Presa

c) Río

d) Otro

¿La conducción del agua cruda se realiza por gravedad o por bombeo? \_\_\_\_\_

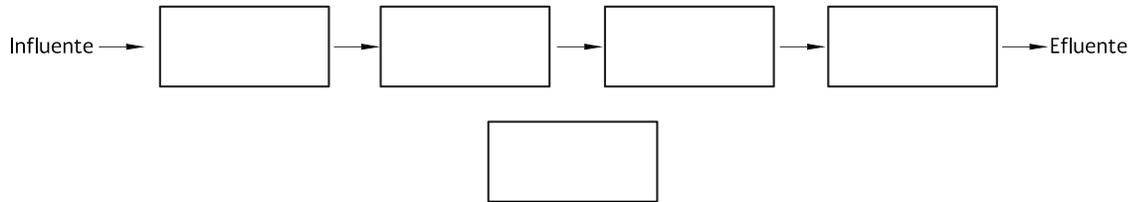
\_\_\_\_\_

Capacidad de diseño \_\_\_\_\_

Caudal medio de operación \_\_\_\_\_

Caudal máximo y mínimo de operación \_\_\_\_\_

Explique en qué consiste el proceso de potabilización (diagrama del tren de proceso)



¿Cuenta con memoria de cálculo, planos de diseño ejecutivo de la planta y manuales de operación? \_\_\_\_\_

¿En qué consiste la operación de la planta potabilizadora? ¿Y las actividades diarias que se realizan en la planta potabilizadora? \_\_\_\_\_

¿Cuáles son los problemas frecuentes que se presentan en la planta de potabilización? \_\_\_\_\_

¿Cuenta con todas las unidades de proceso necesarias, incluyendo las relativas al manejo de lodos? \_\_\_\_\_

¿Se han realizado cambios respecto del diseño original de la planta y de cada una de las unidades de proceso? ¿Cuáles? \_\_\_\_\_

¿Han sufrido las unidades de proceso alguna rehabilitación? ¿Qué tipo de rehabilitación y hace cuánto tiempo? \_\_\_\_\_

---

¿Se han presentado problemáticas relacionadas a la administración del personal operativo? ¿Podría mencionar alguna? \_\_\_\_\_

---

¿Se realizan programas de mantenimiento? ¿En qué consisten? ¿Se lleva una bitácora? \_\_\_\_\_

---

¿Qué empresa diseñó la planta potabilizadora? \_\_\_\_\_

---

¿Qué recomendaciones se pueden hacer para mejorar el proceso y funcionamiento de la planta potabilizadora? \_\_\_\_\_

---

---

**b) Recorrido en planta, operación y evaluación de las unidades de proceso.** Una vez realizado el llenado de la ficha técnica anterior se realizará el recorrido a través de la planta potabilizadora por parte del evaluador y se marcará en cada rubro la opción correspondiente. El objetivo de las siguientes tablas es ir evaluando cada aspecto. En el inciso b) (referente al recorrido en planta, operación y evaluación de las unidades de proceso) se

tienen dos tablas: una para identificar los procesos y otra para comparar los criterios de diseño.

Para facilitar la aplicación de esta guía, el apartado se aplicará en función del tipo de planta potabilizadora.

**Tren de clarificación convencional de agua superficial** (tabla 3.12 a la tabla 3.30)

## Infraestructura de llegada

Tabla 3.12 Evaluación recorrido en planta, infraestructura de llegada; clarificación convencional

Concepto	Sí	No	Observación
¿Existe sistema de bombeo desde la fuente de alimentación a la planta?			
¿Se conoce la capacidad de dicha bomba? ¿Cuál es?			
Si existen varias bombas, ¿se alternan?			
¿Existe una estructura de entrada o caja receptora del influente? ¿Cuál es?			

## Medición de caudal

Tabla 3.13 Evaluación recorrido en planta, caudal; clarificación convencional

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se registra el caudal de operación normal a la entrada y salida y los gastos máximos y mínimos?			
¿Se conoce el tipo de medidor de caudal que se emplea? ¿Cuál sería?			
¿Se realiza la calibración y mantenimiento de los medidores de caudal?			
¿Se realiza alguna derivación de caudal excedente o caudal de rechazo?			

Tabla 3.14 Evaluación recorrido en planta, caudal, criterios de diseño; clarificación convencional

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿El caudal de diseño es igual al caudal medio?				Con almacenamiento	Caudal de diseño = caudal medio

## Pretratamiento

Tabla 3.15 Evaluación recorrido en planta, pretratamiento; clarificación convencional

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se requiere pretratamiento?			
¿Existe sistema de presedimentación? ¿Cuáles es?			
¿Existe sistema de rejilla o cribado?			
¿Existe precloración? ¿Con que reactivo se realiza: cloro o hipoclorito?			

Tabla 3.16 Evaluación recorrido en planta, pretratamiento, criterios de diseño; clarificación convencional

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿En caso de que exista presedimentador se determina el tiempo de retención? ¿Cuál sería?				Tiempo de retención	≥2 h
¿Se determina la carga superficial en caso de existir presedimentador? ¿Cuál sería?				Carga superficial	15 a 80 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d, para horizontales
¿Se conoce la inclinación de las rejillas? ¿Cuál sería?				Inclinación de las rejillas	70 a 80° con respecto a la horizontal
¿Se conoce la separación entre las barras de rejillas? ¿Cuál sería?				Separación entre barras	75 a 150 mm para estructuras de captación en ríos con grava gruesa. 20 y 40 mm para ríos caracterizados por el transporte de gravas finas
¿Se conoce la velocidad de flujo a través de las rejillas? ¿Cuál sería?				Velocidad de flujo a través de las rejillas	≤ 0.15 m/s

### Coagulación

Tabla 3.17 Evaluación recorrido en planta, coagulación; clarificación convencional

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se calibra el equipo dosificador conforme a lo establecido en el procedimiento? ¿Cada cuánto?			
¿Se verifica la dosificación conforme al caudal que entra en el sistema?			
¿Se lleva a cabo adecuadamente la mezcla rápida?			
¿Se registran en la bitácora de actividades el estado del proceso y la dosificación empleada?			
¿Se seleccionan la dosis óptima y las sustancias químicas adecuadamente? ¿Cómo se determina?			
¿Se preparan las soluciones de coagulantes y polímeros adecuadamente antes de la aplicación?			
¿Se ajusta el pH del influente? ¿Con ácido o con base?			
¿La mezcla rápida se realiza de forma mecánica o hidráulica? ¿De qué tipo?			
¿Se aplica el coagulante en presencia de flujo turbulento?			
¿Como coagulante se emplea un polímero? ¿Cuál?			
¿El coagulante se aplica de forma líquida o sólida?			
¿Se conoce el tipo de dosificador que se emplea?			

Tabla 3.18 Evaluación recorrido en planta, coagulación, criterios de diseño; clarificación convencional

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿Se conoce el tiempo de retención? ¿Cuál sería?				Tiempo de retención mezcla rápida mecánica	< 20 s
¿Se conoce el número de unidades de la mezcla rápida mecánica? ¿Cuáles serían?				Número de unidades mezcla rápida mecánica	2 min o 1 min por módulo
¿Se conoce el gradiente de velocidad de mezcla rápida? ¿Cuál es?				G para mecánicos G para hidráulicos	500 a 2 000 s <sup>-1</sup> 1 000 a 2 000 s <sup>-1</sup>

## Floculación

Tabla 3.19 Evaluación recorrido en planta, floculación; clarificación convencional

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce el tipo de floculador? ¿De qué tipo es?			
¿Cuántas cámaras de floculación tiene la unidad?			
¿Se verifica conforme a especificaciones la formación de los flóculos? Es decir, se toma una muestra de agua en cada una de las cámaras del floculador (mecánico/hidráulico)			
¿Se ajusta el proceso cuando no se forman los flóculos adecuadamente? ¿Cómo?			
¿Se conocen o determinan los gradientes de velocidad? ¿Cuáles son?			
¿Se conocen los floculantes que se emplean?			

Tabla 3.20 Evaluación recorrido en planta, floculación, criterios de diseño; clarificación convencional

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
Si se cuenta con floculador hidráulico, ¿se conoce el tiempo de retención? ¿Cuál sería?				Tiempo de retención en floculador hidráulico	20 a 40 min
Si se cuenta con floculador mecánico, ¿se conoce el tiempo de retención? ¿Cuál sería?				Tiempo de retención en floculador mecánico	>30 min
¿Se conoce el número de unidades del floculador mecánico o hidráulico? ¿Cuáles serían?				Número de unidades del floculador mecánico ó hidráulico	Mínimo 2, máximo 4 (floculador mecánico) Mínimo 3, máximo 4 (floculador hidráulico)

## Sedimentación

Tabla 3.21 Evaluación recorrido en planta, sedimentación; clarificación convencional

Concepto	Sí	No	Observación
¿Existe una estructura de transición entre el floculador y el sedimentador para obtener un flujo laminar? ¿De qué tipo?			
¿Qué tipo de sedimentador?			
¿Se reparte el caudal de manera uniforme?			
¿Se verifica el nivel de los lodos en el sedimentador?			
¿Existe sistema de recolección y extracción de lodos?			
¿Se purgan los lodos de acuerdo a los procedimientos de la planta?			
¿Se ajusta el proceso por la presencia de flóculos en la superficie del sedimentador?			
¿Se realiza la medición rutinaria de la turbiedad a la salida del sedimentador?			
¿Se lleva algún registro de eficiencia del sedimentador?			

Tabla 3.22 Evaluación recorrido en planta, sedimentación, criterios de diseño; clarificación convencional

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
Si se cuenta con sedimentador de flujo horizontal (rectangular), ¿se conoce el tiempo de retención? ¿Cuál sería?				Tiempo de retención en sedimentador de flujo horizontal (rectangular)	2 a 4 h
¿Se conoce la altura del agua en el sedimentador de flujo horizontal (rectangular)? ¿Cuál sería?				Altura del agua en sedimentador de flujo horizontal (rectangular)	3 a 5 m
¿Se conoce la pendiente del fondo del sedimentador de flujo horizontal (rectangular)? ¿Cuál sería?				Pendiente del fondo de sedimentador de flujo horizontal (rectangular)	>2%
¿Se conoce la relación longitud/ancho del sedimentador de flujo horizontal (rectangular)? ¿Cuál sería?				Relación longitud/ancho de sedimentador de flujo horizontal (rectangular)	5:1
¿Se conoce el número de unidades del sedimentador de flujo horizontal (rectangular)? ¿Cuál sería?				Número de unidades sedimentador de flujo horizontal (rectangular)	>3
¿Se conoce el diámetro del sedimentador circular? ¿Cuál sería?				Diámetro en sedimentador circular	2 a 60 m
¿Se conoce la profundidad de agua en el tanque en el sedimentador circular? ¿Cuál sería?				Profundidad de agua en el tanque en sedimentador circular	2 a 4 m
¿Se conoce la pendiente del piso del sedimentador circular? ¿Cuál sería?				Pendiente del piso en sedimentador circular	Para sedimentadores: 1:12 Para espesadores: 2:12
Si se cuenta con sedimentador de alta tasa, ¿se conoce el tiempo de retención? ¿Cuál sería?				Tiempo de retención sedimentador de alta tasa en módulos o placas paralelas	1.5 a 3 h
¿Se conoce la profundidad del sedimentador de alta tasa? ¿Cuál sería?				Profundidad del sedimentador de alta tasa	4 a 5.5 m
¿Se conoce la carga superficial del sedimentador de alta tasa? ¿Cuál sería?				Carga superficial del sedimentador de alta tasa	120 a 185 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d

## Filtración

Tabla 3.23 Evaluación recorrido en planta, filtración; clarificación convencional

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se reparte el flujo uniformemente entre los filtros?			
¿Se conoce si la filtración es por gravedad o por presión?			
¿Se conoce el modo de operación de los filtros? (Tasa declinante o tasa constante) ¿Cuál es?			
¿Se conoce si es un medio dual o simple?			
¿Se comprueba la pérdida de carga de los filtros?			
¿Se tienen bien determinados los criterios para realizar el retrolavado? ¿Cuáles serían? (pérdida de carga/calidad del agua)			
¿Se realiza con frecuencia el retrolavado?			
¿Se retrolavan los filtros finalizada su carrera conforme a especificaciones de la planta? ¿Cómo?			
¿Se verifica que el agua de salida de los filtros recupere su calidad después del retrolavado?			
¿Se realiza el retrolavado con bomba o por carga? ¿Desde un tanque elevado o por autolavado?			
¿Cómo se hace el retrolavado: aire –agua o sólo agua? ¿Se realiza lavado superficial?			
¿Se comprueba la calidad de agua a la salida de los filtros?			
¿Se conoce el tipo de bombas que se emplean?			
¿Se recupera el agua del lavado de los filtros?			

Tabla 3.24 Evaluación recorrido en planta, filtración, criterios de diseño; clarificación convencional

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿Se conoce el número de unidades en la filtración?				Número de unidades de filtración rápida	>2
¿Se conoce el espesor del lecho filtrante? ¿Cuál sería?				Espesor del lecho filtrante de filtración rápida	>0.6 m de altura
¿Se conoce la tasa de filtración rápida? ¿Cuál sería?				Tasa de filtración rápida	7.5 – 20 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h
¿Se conoce la velocidad de retrolavado? ¿Cuál sería?				Velocidad de retrolavado de filtración rápida	Entre 0.7 y 1.0 m/min para filtros de flujo descendente y entre 0.9 y 1.3 m/min para flujos ascendentes

## Cloración

Tabla 3.25 Evaluación recorrido en planta, cloración; clarificación convencional

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce el tipo de desinfectante que se dosifica en el agua tratada?			
¿A qué concentración se emplea?			
¿Se conoce el tipo de dosificador que se emplea?			
¿Cómo se determina la dosis aplicada de cloro?			
¿Se conoce la concentración en mg/L de cloro que debe tener el efluente?			
¿Se llevan registros diarios del consumo de gas cloro?			
¿Se verifica el funcionamiento del equipo de seguridad en la zona de cloración?			
¿Se identifica la existencia de fugas de gas cloro? Y en su caso ¿se reporta al encargado de planta? ¿Se reporta inmediatamente?			
¿Se cuenta con alarma para detectar fugas de gas cloro?			

Tabla 3.26 Evaluación recorrido en planta, cloración, criterios de diseño; clarificación convencional

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿Se conoce la dosis de cloro residual y el tiempo de contacto? ¿Cuál sería?				Dosis de cloro residual y tiempo de contacto	Cumplir con el valor que marca la norma: 0.2 a 1.5 mg/L de cloro residual. 30 min como mínimo antes de llegar al primer punto de distribución

## Espesamiento de lodos

Tabla 3.27 Evaluación recorrido en planta, espesamiento de lodos; clarificación convencional

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se verifica el funcionamiento del sistema de control de nivel del tanque de recepción de los lodos producidos en el proceso?			
¿Se aplica el reactivo de acuerdo al procedimiento de operación?			
¿Se controla el tiempo de retención del lodo dentro del tanque de acuerdo al procedimiento de operación?			
¿Se recircula el sobrenadante del espesamiento de lodos al influente del proceso de tratamiento de potabilización?			
¿Se opera la válvula de purga para llevar los lodos al sistema de deshidratación final?			

### ***Deshidratado de lodos***

Tabla 3.28 Evaluación recorrido en planta, deshidratación de lodos; clarificación convencional

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se deshidratan los lodos?			
¿Se ajusta la frecuencia de operación de la unidad mecánica de acuerdo al volumen producido controlando la humedad de los lodos?			
¿Se almacenan los lodos para su disposición final?			

### ***Disposición de lodos***

Tabla 3.29 Evaluación recorrido en planta, disposición de lodos; clarificación convencional

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce el volumen de lodos producidos y desalojados diariamente o semanalmente?			
¿Se conoce el destino que se le da a los lodos? ¿Cuál sería?			

### ***Infraestructura de salida***

Tabla 3.30 Evaluación recorrido en planta, infraestructura de salida; clarificación convencional

Concepto	Sí	No	Observación
¿Cuenta con un cárcamo de salida?			
¿El efluente de la planta potabilizadora se une o se mezcla con otras fuentes de abastecimiento?			
¿Se lleva un control de la calidad del efluente?			

**Nota:** La guía de evaluación para plantas potabilizadoras con clarificación convencional sigue a partir del inciso c) Laboratorio al j) Grado de capacitación del personal de la planta.

- **Tren de potabilización de agua con hierro y manganeso**

(De la tabla 3.31a la tabla 3.46)

### ***Infraestructura de llegada***

Tabla 3.31 Evaluación recorrido en planta, infraestructura de llegada; remoción hierro y manganeso

Concepto	Sí	No	Observación
¿Existe sistema de bombeo desde la fuente de alimentación a la planta?			
¿Se conoce la capacidad de dicha bomba? ¿Cuál es?			
Si existen varias bombas, ¿se alternan?			
¿Existe una estructura de entrada o caja receptora del influente? ¿Cuál es?			

## Medición de caudal

Tabla 3.32 Evaluación recorrido en planta, caudal; remoción hierro y manganeso

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se registran el caudal de operación normal a la entrada y salida y el gasto máximo y mínimo?			
¿Se conoce el tipo de medidor de caudal que se emplea? ¿Cuál sería?			
¿Se registra la velocidad de flujo de operación de la planta con gráficas?			
¿Se realizan la calibración y mantenimiento de los medidores de flujo?			
¿Se realiza alguna derivación de caudal excedente o caudal de rechazo?			

Tabla 3.33 Evaluación recorrido en planta, caudal, criterios de diseño; remoción de hierro y manganeso

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿El caudal de diseño es igual al caudal medio?				Con almacenamiento	Caudal de diseño = caudal medio

## Pretratamiento

Tabla 3.34 Evaluación recorrido en planta, pretratamiento; remoción de hierro y manganeso

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se requiere pretratamiento?			
¿Existe sistema de presedimentación?			
¿Existe sistema de rejilla o cribado?			
¿Existe precloración? ¿Con que reactivo se realiza: cloro o hipoclorito?			

Tabla 3.35 Evaluación recorrido en planta, pretratamiento, criterios de diseño, remoción de hierro y manganeso

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
En caso de que exista presedimentador, ¿se determina el tiempo de retención? ¿Cuál sería?				Tiempo de retención	≥2 h
¿Se determina la carga superficial en caso de existir presedimentador? ¿Cuál sería?				Carga superficial	15 a 80 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d, para sedimentadores horizontales.
¿Se conoce la inclinación de las rejillas? ¿Cuál sería?				Inclinación de las rejillas	70 a 80° con respecto a la horizontal
¿Se conoce la separación entre las barras de rejillas? ¿Cuál sería?				Separación entre barras	75 a 150 mm para estructuras de captación en ríos con grava gruesa. 20 y 40 mm para ríos caracterizados por el transporte de gravas finas
¿Se conoce la velocidad de flujo a través de las rejillas? ¿Cuál sería?				Velocidad de flujo a través de las rejillas	≤ 0.15 m/s

## Oxidación

Tabla 3.36 Evaluación recorrido en planta, oxidación; remoción de hierro y manganeso

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce si la oxidación se da con la adición de hipoclorito de sodio, por aireación u ozono?			
¿Existe tanque de contacto para la oxidación?			
¿Se emplean compresores y sopladores para el equipo de ozonificación o aireación?			
¿Se conoce si existe una concentración elevada de materia orgánica en la fuente de suministro que pudiera afectar la remoción de hierro y manganeso por oxidación y filtración?			
¿El pH del influente es superior a 8? (Esto promovería una oxidación más rápida por aireación)			
¿Se sabe cuánto ozono se dosifica?			
¿Se lleva el registro de cuanto ozono se produce?			
¿Se conoce el número de sopladores?			

Tabla 3.37 Evaluación recorrido en planta, oxidación, criterios de diseño; remoción de hierro y manganeso

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿Se conoce la dosis de cloro? ¿Cuál sería?				Dosis de cloro	Demanda 0.5 a 1.5 mg/L
¿En dónde se aplica el hipoclorito de sodio?				Lugar de aplicación del hipoclorito de sodio	Entrada de los filtros
¿Se conoce el tiempo de retención en el sedimentador? ¿Cuál sería?				Tiempo de retención en el sedimentador	2 h

## Filtración

Tabla 3.38 Evaluación recorrido en planta, filtración; remoción de hierro y manganeso

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se reparte el flujo uniformemente entre los filtros?			
¿Se conoce si la filtración es por gravedad o por presión?			
¿Se conoce el modo de operación de los filtros? (Tasa declinante o tasa constante) ¿Cuál es?			
¿Se conoce si es un medio dual o simple?			
¿Se comprueba la pérdida de carga de los filtros?			
¿Se tienen bien determinados los criterios para realizar el retrolavado? ¿Cuáles serían? (pérdida de carga/calidad del agua)			
¿Se realiza con frecuencia realiza el retrolavado?			
¿Se retrolavan los filtros finalizada su carrera conforme a especificaciones de la planta? ¿Cómo?			
¿Se verifica que el agua de salida de los filtros recupere su calidad después del retrolavado?			
¿Se hace el retrolavado con bomba o por carga? ¿Desde un tanque elevado o por autolavado?			
¿Cómo se hace el retrolavado: aire –agua o sólo agua? ¿Se realiza lavado superficial?			
¿Se comprueba la calidad de agua a la salida de los filtros?			
¿Se conoce el tipo de bombas que se emplean?			

## Filtración con zeolita

Tabla 3.39 Evaluación recorrido en planta, filtración con zeolita; remoción de hierro y manganeso

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se reparte el flujo uniformemente entre los filtros?			
¿Se conoce el número de unidades o filtros que se operan?			
¿Se conoce si la filtración es por gravedad o por presión?			
¿Se conoce el modo de operación de los filtros? (Tasa declinante o tasa constante) ¿Cuál es?			
¿Se comprueba la pérdida de carga de los filtros?			
¿Se tienen bien determinados los criterios para realizar el retrolavado? ¿Cuáles serían? (pérdida de carga/calidad del agua)			
¿Se realiza con frecuencia el retrolavado?			
¿Se verifica que el agua de salida de los filtros recupere su calidad después del retrolavado?			
¿Se hace el retrolavado con bomba o por carga? ¿Desde un tanque elevado o por autolavado?			
¿Cómo se hace el retrolavado: aire –agua o sólo agua? ¿Se realiza lavado superficial?			

Tabla 3.40 Evaluación recorrido en planta, criterios de diseño, filtración con zeolita; remoción de hierro y manganeso

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿Se conoce el tiempo de retención más adecuado en el filtro de zeolita? ¿Cuál sería?				Tiempo de retención en el filtro de zeolita	2 a 3 min
¿Se conoce el tamaño de grano de zeolita?				Tamaño de grano de zeolita	0.5 a 1.0 mm
¿Se conoce la tasa de filtración?				Tasa de filtración	10 a 15 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h
¿En qué punto se recomienda aplicar el cloro?				Aplicación de cloro	Entrada de filtros
¿Se conoce la tasa de retrolavado? ¿Cuál sería?				Tasa de retrolavado	90 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h

### Cloración

Tabla 3.41 Evaluación recorrido en planta, cloración; remoción de hierro y manganeso

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce el tipo de desinfectante que se dosifica en el agua tratada?			
¿A qué concentración se emplea?			
¿Se conoce el tipo de dosificador que se emplea?			
¿Cómo se determina la dosis de cloro aplicada?			
¿Se conoce la concentración en mg/L de cloro que debe tener el efluente?			
¿Se llevan registros diarios del consumo de gas cloro?			
¿Se verifica el funcionamiento del equipo de seguridad en la zona de cloración?			
¿Se identifica la existencia de fugas de gas cloro? Y en su caso, ¿se reporta al encargado de planta? ¿Se reporta inmediatamente?			
¿Se cuenta con alarma para detectar fugas de gas cloro?			

Tabla 3.42 Evaluación recorrido en planta, cloración, criterios de diseño; remoción de hierro y manganeso

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿Se conoce la dosis de cloro residual y el tiempo de contacto? ¿Cuál sería?				Dosis de cloro residual y tiempo de contacto	Cumplir con el valor que marca la norma: 0.2 a 1.5 mg/L de cloro residual. Tiempo de contacto: 30 min como mínimo antes de llegar al primer punto de distribución

### **Espesamiento de lodos**

Tabla 3.43 Evaluación recorrido en planta, espesamiento de lodos; remoción de hierro y manganeso

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se verifica el funcionamiento del sistema de control de nivel del tanque de receptación de los lodos producidos en el proceso?			
¿Se aplica el reactivo de acuerdo a instrucciones del responsable de la planta?			
¿Se controla el tiempo de retención del lodo dentro del tanque de acuerdo a las instrucciones del responsable de la planta?			
¿Se recircula el agua clarificada de decantado al influente del proceso de tratamiento de potabilización?			
¿Se opera la válvula de purga para llevar los lodos al sistema de deshidratación final?			

### **Deshidratación de lodos**

Tabla 3.44 Evaluación recorrido en planta, deshidratación de lodos; remoción de hierro y manganeso

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se deshidratan los lodos?			
¿Se ajusta la frecuencia de operación de la unidad mecánica de acuerdo al volumen producido/ controlando la humedad de los lodos?			
¿Se almacenan los lodos para su disposición final?			

### **Disposición de lodos**

Tabla 3.45 Evaluación recorrido en planta, disposición de lodos; remoción de hierro y manganeso

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce el volumen de lodos producidos y desalojados diariamente o semanalmente?			
¿Se conoce el destino que se le da a los lodos? ¿Cuál sería?			

### **Infraestructura de salida**

Tabla 3.46 Evaluación recorrido en planta, infraestructura de salida; remoción de hierro y manganeso

Concepto	Sí	No	Observación
¿Cuenta con un cárcamo de salida?			
¿El efluente de la planta potabilizadora se une o se mezcla con otras fuentes de abastecimiento?			
¿Se lleva un control de la calidad del efluente?			

Nota: La guía de evaluación para plantas potabilizadoras de agua con hierro y manganeso sigue a partir del inciso c) Laboratorio al j) Grado de capacitación del personal de la planta.

## Tren de potabilización de filtración directa (De la tabla 3.47 a la tabla 3.58)

### Infraestructura de llegada

Tabla 3.47 Evaluación recorrido en planta, infraestructura de llegada; filtración directa

Concepto	Sí	No	Observación
¿Existe sistema de bombeo desde la fuente de alimentación a la planta?			
¿Se conoce la capacidad de dicha bomba? ¿Cuál es?			
Si existen varias bombas, ¿se alternan?			
¿Existe una estructura de entrada o caja receptora del influente? ¿Cuál es?			

### Medición de caudal

Tabla 3.48 Evaluación recorrido en planta, caudal; filtración directa

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se registran el caudal de operación normal a la entrada y salida y el gasto máximo y mínimo?			
¿Se conoce el tipo de medidor de caudal que se emplea? ¿Cuál sería?			
¿El flujo se encuentra igualmente distribuido en las diferentes unidades?			
¿Se realizan la calibración y mantenimiento de los medidores de flujo?			
¿Se realiza alguna derivación de caudal excedente o caudal de rechazo?			

Tabla 3.49 Evaluación recorrido en planta, caudal, criterios de diseño; filtración directa

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿El caudal de diseño es igual al caudal medio?				Con almacenamiento	Caudal de diseño = caudal medio

### Pretratamiento

Tabla 3.50 Evaluación recorrido en planta, pretratamiento; filtración directa

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se requiere pretratamiento?			
¿Existe sistema de presedimentación?			
¿Existe sistema de rejilla o cribado?			

Tabla 3.51 Evaluación recorrido en planta, pretratamiento, criterios de diseño; filtración directa

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
En caso de que exista presedimentador, ¿se determina el tiempo de retención? ¿Cuál sería?				Tiempo de retención	≥2 h
¿Se determina la carga superficial en caso de existir presedimentador? ¿Cuál sería?				Carga superficial	15 a 80 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d, para sedimentadores horizontales.
¿Se conoce la inclinación de las rejillas? ¿Cuál sería?				Inclinación de las rejillas	70 a 80° con respecto a la horizontal
¿Se conoce la separación entre las barras de rejillas? ¿Cuál sería?				Separación entre barras	75 a 150 mm para estructuras de captación en ríos con grava gruesa. 20 y 40 mm para ríos caracterizados por el transporte de gravas finas
¿Se conoce la velocidad de flujo a través de las rejillas? ¿Cuál sería?				Velocidad de flujo a través de las rejillas	≤ 0.15 m/s

### Torre de desorción

Tabla 3.52 Evaluación recorrido en planta, torre de desorción, filtración directa

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce si existe una concentración elevada de materia orgánica en la fuente de suministro que pudiera afectar la remoción de hierro y manganeso por oxidación y filtración?			
¿El pH del influente es superior a 8? (Esto promovería una oxidación más rápida por aireación)			
¿Se conoce la capacidad de la torre de desorción?			
¿Se conoce el medio de empacado de la torre de desorción?			
¿Se cuenta con sopladores para la torre de desorción?			

Tabla 3.53 Evaluación recorrido en planta, criterios de diseño, torre de desorción; filtración directa

Concepto	Sí	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿Se conoce el diámetro máximo de la columna en la torre de desorción? ¿Cuál sería?			Diámetro máximo de la columna en una torre de desorción	3 m
¿Se conoce la carga hidráulica en la torre de desorción? ¿Cuál sería?			Carga hidráulica en una torre de desorción	2,000 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d

## Filtración

Tabla 3.54 Evaluación recorrido en planta, filtración; filtración directa

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce el tipo de filtro que se emplea? ¿Cuál es?			
¿Se reparte el flujo uniformemente entre los filtros?			
¿Se conoce si la filtración es por gravedad o por presión?			
¿Se conoce el modo de operación de los filtros? (Tasa declinante o tasa constante) ¿Cuál es?			
¿Se conoce el tipo de lecho filtrante? ¿Cuál es?			
¿Se conoce si es un medio dual o simple?			
¿Se comprueba la pérdida de carga de los filtros?			
¿Se tienen bien determinados los criterios para realizar el retrolavado? ¿Cuáles serían? (pérdida de carga/calidad del agua)			
¿Se realiza con frecuencia el retrolavado?			
¿Se retrolavan los filtros finalizada su carrera conforme a especificaciones de la planta? ¿Cómo?			
¿Se verifica que el agua de salida de los filtros recupere su calidad después del retrolavado?			
¿Se hace el retrolavado con bomba o por carga? ¿Desde un tanque elevado o por autolavado?			
¿Cómo se hace el retrolavado: aire –agua o sólo agua? ¿Se realiza lavado superficial?			
¿Se comprueba la calidad de agua a la salida de los filtros?			

## Filtración con zeolita

Tabla 3.55 Evaluación recorrido en planta, filtración con zeolita;filtración directa

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se reparte el flujo uniformemente entre los filtros?			
¿Se conoce el número de unidades o filtros que se operan?			
¿Se conoce si la filtración es por gravedad o por presión?			
¿Se conoce el modo de operación de los filtros? (Tasa declinante o tasa constante) ¿Cuál es?			
¿Se conoce si es un medio dual o simple?			
¿Se comprueba la pérdida de carga de los filtros?			
¿Se tienen bien determinados los criterios para realizar el retrolavado? ¿Cuáles serían? (pérdida de carga/calidad del agua)			

Tabla 3.55 Evaluación recorrido en planta, filtración con zeolita;filtración directa (continuación)

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se realiza con frecuencia el retrolavado?			
¿Se retrolavan los filtros finalizada su carrera conforme a especificaciones de la planta? ¿Cómo?			
¿Se verifica que el agua de salida de los filtros recupere su calidad después del retrolavado?			
¿Se hace el retrolavado con bomba o por carga? ¿Desde un tanque elevado o por autolavado?			
¿Cómo se hace el retrolavado: aire –agua o sólo agua? ¿Se realiza lavado superficial?			
¿Se comprueba la calidad de agua a la salida de los filtros?			
¿Cuenta con falso fondo de hidroesferas?			

Tabla 3.56 Evaluación recorrido en planta, criterios de diseño, filtración con zeolita; filtración directa

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿Se conoce el número de unidades en la filtración?				Número de unidades de filtración	>2
¿Se conoce el tiempo de retención más adecuado para el filtro de zeolita? ¿Cuál sería?				Tiempo de retención para el filtro de zeolita	2 a 3 min
¿Se conoce el tamaño de grano de zeolita?				Tamaño de grano de zeolita	0.5 a 1.0 mm
¿Se conoce la tasa de filtración?				Tasa de filtración	10 a 15 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h
¿En qué punto se recomienda aplicar el cloro?				Aplicación de cloro	Entrada de filtros
¿Se conoce la tasa de retrolavado? ¿Cuál sería?				Tasa de retrolavado	90 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h

## Cloración

Tabla 3.57 Evaluación recorrido en planta, cloración; filtración directa

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce el tipo de desinfectante que dosifica en el agua tratada?			
¿A qué concentración se emplea?			
¿Se conoce el tipo de dosificador que se emplea?			
¿Cómo se determina la dosis aplicada de cloro?			
¿Se conocen las mg/L de cloro residual que debe tener el efluente?			
¿Se llevan registros diarios del consumo de cloro?			
¿Se verifica el funcionamiento del equipo de seguridad en la zona de cloración?			
¿Se identifica la existencia de fugas de gas cloro? Y en su caso, ¿se reporta al encargado de planta? ¿Se reporta inmediatamente?			
¿Se cuenta con alarma para detectar fugas de gas cloro?			

Tabla 3.58 Evaluación recorrido en planta, cloración, criterios de diseño; filtración directo

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿Se conoce la dosis de cloro residual y el tiempo de contacto? ¿Cuál sería?				Dosis de cloro residual y tiempo de contacto	Cumplir con el valor que marca la norma: 0.2 a 1.5 mg/L de cloro residual. Tiempo de contacto: 30 min como mínimo antes de llegar al primer punto de distribución.

**Nota:** La guía de evaluación para plantas potabilizadoras con filtración directa sigue a partir del inciso c) Laboratorio al j) Grado de capacitación del personal de la planta.

- **Tren de potabilización de ablandamiento de agua**  
(De la tabla 3.59 a la tabla 3.80)

### **Infraestructura de llegada**

Tabla 3.59 Evaluación recorrido en planta, infraestructura de llegada; ablandamiento

Concepto	Sí	No	Observación
¿Existe sistema de bombeo desde la fuente de alimentación a la planta?			
¿Se conoce la capacidad de dicha bomba? ¿Cuál es?			
Si existen varias bombas, ¿se alternan?			
¿Existe una estructura de entrada o caja receptora del influente? ¿Cuál es?			

### **Medición de caudal**

Tabla 3.60 Evaluación recorrido en planta, caudal; ablandamiento

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se registran el caudal de operación normal a la entrada y salida y el gasto máximo y mínimo?			
¿Se conoce el tipo de medidor de caudal que se emplea? ¿Cuál sería?			
¿El flujo se encuentra igualmente distribuido en las diferentes unidades?			
¿Se registra la velocidad de flujo de operación de la planta? ¿Se hace con gráficas?			
¿Se realizan la calibración y mantenimiento de los medidores de flujo?			
¿Se realiza alguna derivación de caudal o caudal excedente?			

Tabla 3.61 Evaluación recorrido en planta, caudal, criterios de diseño; ablandamiento

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿El caudal de diseño es igual al caudal medio?				Con almacenamiento	Caudal de diseño = caudal medio

### Pretratamiento

Tabla 3.62 Evaluación recorrido en planta, pretratamiento; ablandamiento

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se requiere pretratamiento?			
¿Existe sistema de presedimentación?			
¿Existe sistema de rejilla o cribado?			

Tabla 3.63 Evaluación recorrido en planta, pretratamiento, criterios de diseño; ablandamiento

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
En caso de que exista presedimentador, ¿se determina el tiempo de retención? ¿Cuál sería?				Tiempo de retención	≥ 2 h
¿Se determina la carga superficial en caso de existir presedimentador? ¿Cuál sería?				Carga superficial	15 a 80 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d, para sedimentadores horizontales
¿Se conoce la inclinación de las rejillas? ¿Cuál sería?				Inclinación de las rejillas	70 a 80° con respecto a la horizontal
¿Se conoce la separación entre las barras de rejillas? ¿Cuál sería?				Separación entre barras	75 a 150 mm para estructuras de captación en ríos con grava gruesa. 20 y 40 mm para ríos caracterizados por el transporte de gravas finas
¿Se conoce la velocidad de flujo a través de las rejillas? ¿Cuál sería?				Velocidad de flujo a través de las rejillas	≤ 0.15 m/s

Tabla 3.64 Evaluación recorrido en planta, coagulación; ablandamiento

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se adiciona cal o carbonato de sodio?			
¿Se calibra el equipo dosificador conforme a lo establecido? ¿Cada cuándo?			
¿Se verifica la dosificación conforme al caudal que entra en el sistema?			
¿Se lleva a cabo adecuadamente la mezcla rápida?			
¿Se registra en la bitácora de actividades el estado del proceso y la dosificación empleada?			
¿Se seleccionan la dosis óptima y las sustancias químicas adecuadamente? ¿Cómo se determina?			
¿Se preparan las soluciones de coagulantes y polímeros adecuadamente antes de la aplicación?			
¿Se ajusta el pH del influente? ¿Con ácido o con base?			
¿La mezcla rápida se realiza de forma mecánica o hidráulica? ¿De qué tipo?			
¿Se aplica el coagulante en presencia de flujo turbulento?			
¿Como coagulante se emplea un polímero? ¿Cuál?			
¿El coagulante se aplica de forma líquida o sólida?			

## Precipitación

Tabla 3.65 Evaluación recorrido en planta, coagulación, criterios de diseño; ablandamiento

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿Se conoce el tiempo de retención? ¿Cuál sería?				Tiempo de retención de mezcla rápida mecánica	< 20 s
¿Se conoce el número de unidades de la mezcla rápida mecánica? ¿Cuál sería?				Número de unidades mezcla rápida mecánica	2 mínimo
Si se realiza la mezcla rápida de manera hidráulica mediante canal parshall, ¿se conoce la relación entre la altura del agua/ancho de la canaleta? ¿Cuál sería?				Altura del agua/ancho de la canaleta en la Mezcla rápida hidráulica	0.4 a 0.8 m
¿Se conoce el gradiente de velocidad de mezcla rápida? ¿Cuál es?				G para mecánicos G para hidráulicos	500 a 2 000 s <sup>-1</sup> 1 000 a 2 000 s <sup>-1</sup>

## Floculación

Tabla 3.66 Evaluación recorrido en planta, floculación; ablandamiento

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce el tipo de floculador? ¿Qué tipo de floculador es?			
¿Cuántas cámaras de floculación tiene la unidad?			
¿Se verifica conforme a especificaciones la formación de los floculos? ¿Se toma una muestra de agua en cada una de las cámaras del floculador (mecánico/hidráulico)?			
¿Se ajusta el proceso cuando no se forman los floculos adecuadamente? ¿Cómo?			
¿Se conocen o determinan los gradientes de velocidad? ¿Cuáles son?			
¿Se conocen los floculantes que se emplean?			

Tabla 3.67 Evaluación recorrido en planta, floculación, criterios de diseño; ablandamiento

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
Si se cuenta con floculado hidráulico, ¿se conoce el tiempo de retención? ¿Cuál sería?				Tiempo de retención en floculador hidráulico	20 a 40 min
Si se cuenta con floculador mecánico, ¿se conoce el tiempo de retención? ¿Cuál sería?				Tiempo de retención en floculador mecánico	>30 min
¿Se conoce el número de unidades del floculador mecánico ó hidráulico? ¿Cuál sería?				Número de unidades del floculador mecánico o hidráulico	Mínimo 2, máximo 4 (floculador mecánico) Mínimo 3, máximo 4 (floculador hidráulico)

## Sedimentación

Tabla 3.68 Evaluación recorrido en planta, sedimentación; ablandamiento

Concepto	Sí	No	Observación
¿Existe una estructura de transición entre el floculador y el sedimentador para obtener un flujo laminar? ¿De qué tipo?			
¿Qué tipo de sedimentador?			
¿Se reparte el caudal de manera uniforme?			
¿Se verifica el nivel de los lodos en el sedimentador?			
¿Existe sistema de recolección y extracción de lodos?			
¿Se purgan los lodos de acuerdo a los procedimientos de la planta?			
¿Se ajusta el proceso por la presencia de floculos en la superficie del sedimentador?			
¿Se realiza la medición rutinaria de la turbiedad a la salida del sedimentador?			
¿Se lleva algún registro de eficiencia del sedimentador?			

Tabla 3.69 Evaluación recorrido en planta, sedimentación, criterios de diseño; ablandamiento

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
Si se cuenta con sedimentador de flujo horizontal (rectangular), ¿se conoce el tiempo de retención? ¿Cuál sería?				Tiempo de retención en sedimentador de flujo horizontal (rectangular)	2 a 4 h
¿Se conoce la altura del agua en el sedimentador de flujo horizontal (rectangular)? ¿Cuál sería?				Altura del agua en sedimentador de flujo horizontal (rectangular)	3 a 5 m
¿Se conoce la pendiente del fondo del sedimentador de flujo horizontal (rectangular)? ¿Cuál sería?				Pendiente del fondo de sedimentador de flujo horizontal (rectangular)	>2%
¿Se conoce la relación longitud/ancho del sedimentador de flujo horizontal (rectangular)? ¿Cuál sería?				Relación longitud/ancho de sedimentador de flujo horizontal (rectangular)	5:1
¿Se conoce el número de unidades del sedimentador de flujo horizontal (rectangular)? ¿Cuál sería?				Número de unidades sedimentador de flujo horizontal (rectangular)	>3
¿Se conoce el diámetro del sedimentador circular? ¿Cuál sería?				Diámetro en sedimentador circular	2 a 60 m
¿Se conoce la profundidad de agua en el tanque en el sedimentador circular? ¿Cuál sería?				Profundidad de agua en el tanque en sedimentador circular	2 a 4 m
¿Se conoce la pendiente del piso del sedimentador circular? ¿Cuál sería?				Pendiente del piso en sedimentador circular	Para sedimentadores: 1:12 Para espesadores: 2:12
Si se cuenta con sedimentador de alta tasa, ¿se conoce el tiempo de retención? ¿Cuál sería?				Tiempo de retención sedimentador de alta tasa en módulos o placas paralelas	1.5 a 3 h
¿Se conoce la profundidad del sedimentador de alta tasa? ¿Cuál sería?				Profundidad del sedimentador de alta tasa	3 a 5 m
¿Se conoce la carga superficial del sedimentador de alta tasa? ¿Cuál sería?				Carga superficial del sedimentador de alta tasa	120 a 185 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d

### Punto de recarbonatación

Tabla 3.70 Evaluación recorrido en planta, recarbonatación; ablandamiento

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce qué reactivo se emplea para la recarbonatación?			
¿Se conoce el pH que sale de la sedimentación y el que se logra con la recarbonatación?			

## Filtración

Tabla 3.71 Evaluación recorrido en planta, filtración; ablandamiento

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce el número de unidades de filtración?			
¿Se reparte el flujo uniformemente entre los filtros?			
¿Se conoce si la filtración es por gravedad o por presión?			
¿Se conoce el modo de operación de los filtros, tasa declinante o tasa constante? ¿Cuál es?			
¿Se conoce si es un medio dual o simple?			
¿Se comprueba la pérdida de carga de los filtros?			
¿Se tienen bien determinados los criterios para realizar el retrolavado? ¿Cuáles serían? (pérdida de carga/calidad del agua)			
¿Se realiza con frecuencia el retrolavado?			
¿Se retrolavan los filtros finalizada su carrera conforme a especificaciones de la planta? ¿Cómo?			
¿Se verifica que el agua de salida de los filtros recupere su calidad después del retrolavado?			
¿Se hace el retrolavado con bomba o por carga? ¿Desde un tanque elevado o por autolavado?			
¿Cómo se hace el retrolavado: aire –agua o sólo agua? ¿Se realiza lavado superficial?			
¿Se comprueba la calidad de agua a la salida de los filtros?			
¿Se conoce el tipo de bombas que se emplean?			
¿Se recupera el agua del lavado de los filtros?			

Tabla 3.72 Evaluación recorrido en planta, filtración, criterios de diseño; ablandamiento

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿Se conoce el número de unidades en la filtración?				Número de unidades filtración lenta	>2
¿Se conoce el espesor del lecho filtrante? ¿Cuál sería?				Espesor del lecho filtrante filtración rápida	>0.6 m de altura
¿Se conoce la tasa de filtración rápida en medio dual? ¿Cuál sería?				Tasa de filtración rápida medio dual	7.5 – 20 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h
¿Se conoce la velocidad de retrolavado? ¿Cuál sería?				Velocidad de retrolavado filtración rápida	Entre 0.7 y 1.0 m/min para filtros de flujo descendente

## Intercambio iónico

Tabla 3.73 Evaluación recorrido en planta, intercambio iónico; ablandamiento

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce la conformación y el número de unidades del módulo de intercambio iónico? ¿Cuál sería?			
¿Se conoce el tipo de resinas que se emplean? ¿Cuál sería?			
¿Se conoce de qué manera actúa la resina de intercambio iónico?			
¿Se realiza la regeneración de las resinas? ¿Cada cuándo?			
¿Se conoce si el proceso se realiza en continuo o discontinuo?			
¿Se conoce el tiempo de regeneración de las resinas?			
¿Se emplea salmuera para la regeneración de las resinas?			
¿Se conoce como determinar la dosis y concentración adecuada de la salmuera?			
¿Se conoce la densidad que debe tener la salmuera?			
¿Se conoce el parámetro de control que determina el momento adecuado de realizar la regeneración de las resinas?			

Tabla 3.74 Evaluación recorrido en planta, intercambio iónico, criterios de diseño, ablandamiento

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿Se conoce la capacidad operativa del intercambio iónico? ¿Cuál sería?				Capacidad operativa de intercambio iónico	45 a 80 g/L
¿Se conoce la tasa de flujo? ¿Cuál sería?				Tasa de flujo	120 a 350 m/d
¿Se conoce la tasa de regeneración con salmuera? ¿Cuál sería?				Tasa de regeneración con salmuera	300 a 350 m/d
¿Se conoce la dosis del regenerante? ¿Cuál sería?				Dosis de regenerante	80 a 320 kg/m <sup>3</sup>
¿Se conoce el tiempo de contacto? ¿Cuál sería?				Tiempo de contacto	25 a 45 min

## Cloración

Tabla 3.75 Evaluación recorrido en planta, cloración; ablandamiento

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce el tipo de desinfectante que dosifica en el agua tratada?			
¿A qué concentración se emplea?			
¿Se conoce el tipo de dosificador que se emplea?			
¿Cómo se determina la dosis aplicada de cloro?			
¿Se conoce la concentración en mg/L de cloro residual que debe tener el efluente?			
¿Se llevan registros diarios del consumo de cloro?			
¿Se verifica el funcionamiento del equipo de seguridad en la zona de cloración?			
¿Se identifica la existencia de fugas de gas cloro? Y en su caso, ¿se reporta al encargado de planta? ¿Se reporta inmediatamente?			
¿Se cuenta con alarma para detectar fugas de gas cloro?			

Tabla 3.76 Evaluación recorrido en planta, cloración, criterios de diseño; ablandamiento

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿Se conoce la dosis de cloro residual y el tiempo de contacto? ¿Cuál sería?				Dosis de cloro residual y tiempo de contacto	Cumplir con el valor que marca la norma: 0.2 a 1.5 mg/L de cloro residual. Tiempo de contacto: 30 min como mínimo antes de llegar al primer punto de distribución

## Espesamiento de lodos

Tabla 3.77 valuación recorrido en planta, espesamiento de lodos; ablandamiento

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se verifica el funcionamiento del sistema de control de nivel del tanque de recepción de los lodos producidos en el proceso?			
¿Se aplica el reactivo de acuerdo al procedimiento de operación?			
¿Se controla el tiempo de retención del lodo dentro del tanque de acuerdo al procedimiento de operación?			
¿Se recircula el sobrenadante del espesamiento de lodos al influente del proceso de tratamiento de potabilización?			
¿Se opera la válvula de purga para llevar los lodos al sistema de deshidratación final?			

### ***Deshidratado de lodos***

Tabla 3.78 Evaluación recorrido en planta, deshidratación de lodos; ablandamiento

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se deshidratan los lodos?			
¿Se ajusta la frecuencia de operación de la unidad mecánica de acuerdo al volumen producido controlando la humedad de los lodos?			
¿Se almacenan los lodos para su disposición final?			

### ***Disposición de lodos***

Tabla 3.79 Evaluación recorrido en planta, disposición de lodos; ablandamiento

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce el volumen de lodos producidos y desalojados diariamente o semanalmente?			
¿Se conoce el destino que se le da a los lodos? ¿Cuál sería?			

### ***Infraestructura de salida***

Tabla 3.80 Evaluación recorrido en planta, infraestructura de salida; clarificación convencional

Concepto	Sí	No	Observación
¿Cuenta con un cárcamo de salida?			
¿El efluente de la planta potabilizadora se une o se mezcla con otras fuentes de abastecimiento?			

Nota: La guía de evaluación para plantas potabilizadoras con ablandamiento sigue a partir del inciso c) Laboratorio al j) Grado de capacitación del personal de la planta.

## Tren de potabilización mediante Ósmosis Inversa

(De la tabla 3.82 a la tabla 3.89)

### Infraestructura de llegada

Tabla 3.81 Evaluación recorrido en planta, infraestructura de llegada; ósmosis inversa

Concepto	Sí	No	Observación
¿Existe sistema de bombeo desde la fuente de alimentación a la planta?			
¿Se conoce la capacidad de dicha bomba? ¿Cuál es?			
Si existen varias bombas, ¿se alternan?			
¿Existe una estructura de entrada o caja receptora del influente? ¿Cuál es?			

### Medición de caudal

Tabla 3.82 Evaluación recorrido en planta, caudal; ósmosis inversa

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se registran el caudal de operación normal a la entrada y salida y el gasto máximo y mínimo?			
¿Se conoce el tipo de medidor de caudal que se emplea? ¿Cuál sería?			
¿El flujo se encuentra igualmente distribuido en las diferentes unidades?			
¿Se registra la velocidad de flujo de operación de la planta? ¿Se hace con gráficas?			
¿Se realizan la calibración y mantenimiento de los medidores de flujo?			
¿Se realiza alguna derivación de caudal excedente o caudal de rechazo?			

Tabla 3.83 Evaluación recorrido en planta, caudal, criterios de diseño; ósmosis inversa

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿El caudal de diseño es igual al caudal medio?				Con almacenamiento	Caudal de diseño = caudal medio

Pretratamiento (el pretratamiento de la ósmosis inversa puede incluir filtración con arena-antracita, carbón activado, oxidación, nanofiltración,

entre otros. Esto depende del diseño particular de la planta potabilizadora).

### **Filtración con arena-antracita**

Tabla 3.84 Evaluación recorrido en planta, filtración con arena-antracita; ósmosis inversa

<b>Concepto</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Observación</b>
¿Se conoce el tipo de filtro que se emplea? ¿Cuál es?			
¿Se reparte el flujo uniformemente entre los filtros?			
¿Se conoce si la filtración es por gravedad o por presión?			
¿Se conoce el modo de operación de los filtros? (Tasa declinante o tasa constante) ¿Cuál es?			
¿Se conoce el tipo de lecho filtrante? ¿Cuál es?			
¿Se conoce si es un medio dual o simple?			
¿Se comprueba la pérdida de carga de los filtros?			
¿Se tienen bien determinados los criterios para realizar el retrolavado? ¿Cuáles serían? (pérdida de carga/calidad del agua)			
¿Se realiza con frecuencia el retrolavado?			
¿Se retrolavan los filtros finalizada su carrera conforme a especificaciones de la planta? ¿Cómo?			
¿Se verifica que el agua de salida de los filtros recupere su calidad después del retrolavado?			
¿Se hace el retrolavado con bomba o por carga? ¿Desde un tanque elevado o por autolavado			
¿Cómo se hace el retrolavado: aire –agua o sólo agua? ¿Se realiza lavado superficial?			
¿Se comprueba la calidad de agua a la salida de los filtros?			
¿Se recupera el agua del lavado de los filtros?			

Tabla 3.85 Evaluación recorrido en planta, filtración con arena-antracita, criterios de diseño; ósmosis inversa

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿Se conoce el espesor del lecho filtrante? ¿Cuál sería?				Espesor del lecho filtrante filtración rápida	>0.6 m de altura
¿Se conoce la tasa de filtración rápida? ¿Cuál sería?				Tasa de filtración rápida	150 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d para lechos de arena o antracita con Te de 0.45 a 0.55 mm; 360 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d para lechos de antracita sobre arena de 0.45 a 0.55 mm; 500 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d para lechos de arena sola o antracita sola de tamaño grueso
¿Se conoce la densidad de la antracita? ¿Cuál sería?				Densidad de la antracita	>1.450 kg/m <sup>3</sup>
¿Se conoce la dureza de la antracita? ¿Cuál sería?				Dureza de la antracita	>3.5 en la escala de Mohs
¿Se conocen los lechos de mezclado de arena y antracita? ¿Cuáles serían?				Lechos mezclados de arena y antracita	d <sub>1</sub> = 4 a 6 d <sub>2</sub> ; d <sub>1</sub> = diámetro de la antracita; d <sub>2</sub> = diámetro de la arena
¿Se conoce la velocidad de retrolavado? ¿Cuál sería?				Velocidad de retrolavado filtración rápida	Entre 0.7 y 1.0 m/min para filtros de flujo descendente y entre 0.9 y 1.3 m/min para flujos ascendente

## Ósmosis inversa

Tabla 3.86 Evaluación recorrido en planta; ósmosis inversa

Concepto	Sí	No	Observación
¿Es un proceso automatizado?			
¿Se conoce el caudal del flujo de alimentación (permeado + concentrado)? ¿Cuál sería?			
¿Se conoce el caudal del flujo permeado? ¿Cuál sería?			
¿Se conoce el caudal del flujo concentrado? ¿Cuál sería?			
¿Se conoce el caudal máximo y mínimo de alimentación que soporta el sistema?			
¿Se conoce el tipo de membranas que se emplean? ¿Cuál sería?			
¿Se conoce la concentración de sólidos disueltos totales del agua en la entrada y en la salida? ¿Cuál sería?			
¿Se determina el pH en el agua de entrada y salida? ¿Cuál sería?			
¿Se emplea algún químico para limpiar las membranas? ¿Cuál sería?			
¿Se conoce cada cuando se realiza la limpieza periódica de las membranas?			

Tabla 3.86 Evaluación recorrido en planta; ósmosis inversa (continuación)

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce que parámetros se deben controlar en el proceso? ¿Cuáles serían?			
¿Se conoce cuales parámetros determinan cuando limpiar las membranas? ¿Cuáles serían?			
¿Se realiza operación de limpieza profunda en la ósmosis inversa?			
¿Se conoce con qué frecuencia y en que consiste la operación de limpieza?			
¿Se realiza cambio de cartucho de membranas con regularidad? ¿Cada cuándo?			
¿Se corre el sistema de ósmosis de manera continua?			
¿Se analiza si existe cloro en el agua de entrada?			
¿Se cierra la válvula de control completamente?			
¿Se conoce la capacidad de las bombas que se emplean?			

Tabla 3.87 Evaluación recorrido en planta, criterios de diseño, ósmosis inversa

Concepto	Sí	No	Valor	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿Se conoce el caudal del agua de rechazo? ¿Cuál sería?				Porcentaje promedio de agua de rechazo	20%
¿Se conoce el porcentaje del flujo permeado? ¿Cuál sería?				Porcentaje promedio del flujo permeado	70%
¿Se conoce la presión del rechazo? ¿Cuál sería?				Presión de rechazo	40-60 psi
¿Se conoce la presión de salida? ¿Cuál sería?				Presión de salida	40-60 psi
¿Se conoce la presión del sistema? ¿Cuál sería?				Presión del sistema	225 psi
¿Se conoce la presión del flujo concentrado? ¿Cuál sería?				Presión del flujo concentrado	190 psi
¿Se conoce la temperatura de diseño? ¿Cuál sería?				Temperatura de diseño	25°C
¿Se conoce el porcentaje de remoción de sólidos disueltos totales? ¿Cuál sería?				Porcentaje de remoción de sólidos disueltos totales	98% en promedio
¿Se conoce la presión para la limpieza? ¿Cuál sería?				Presión de limpieza	40-60 psi

## Cloración

Tabla 3.88 Evaluación recorrido en planta, cloración; ósmosis inversa

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce el tipo de desinfectante que dosifica en el agua tratada?			
¿A qué concentración se emplea?			
¿Se conoce el tipo de dosificador que se emplea?			
¿Cómo se determina la dosis aplicada del cloro?			
¿Se conoce la concentración en mg/L de cloro residual que debe tener el efluente?			
¿Se llevan registros diarios del consumo de cloro?			
¿Se conoce el tiempo de contacto con el cloro?			
¿Se cuenta con equipo de seguridad? ¿Se emplea?			
¿Se verifica el funcionamiento del equipo de seguridad en la zona de cloración?			
¿Se identifica la existencia de fugas de gas cloro? Y en su caso, ¿se reporta al encargado de planta? ¿Se reporta inmediatamente?			

Tabla 3.89 Evaluación recorrido en planta, cloración, criterios de diseño; ósmosis inversa

Concepto	Sí	No	Valor	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿Se conoce la dosis de cloro residual y el tiempo de contacto? ¿Cuál sería?				Dosis de cloro residual y tiempo de contacto	Cumplir con el valor que marca la norma: 0.2 a 1.5 mg/L de cloro residual. Tiempo de contacto: 30 min

**Nota:** La guía de evaluación para plantas potabilizadoras con ósmosis inversa sigue a partir del inciso c) Laboratorio al j) Grado de capacitación del personal de la planta.

## Tren de potabilización mediante filtración lenta

(De la tabla 3.91 a la tabla 3.98)

### Infraestructura de llegada

Tabla 3.90 Evaluación recorrido en planta, infraestructura de llegada

Concepto	Sí	No	Observación
¿Existe sistema de bombeo desde la fuente de alimentación a la planta?			
¿Se conoce la capacidad de dicha bomba? ¿Cuál es?			
Si existen varias bombas, ¿se alternan?			
¿Existe una estructura de entrada o caja receptora del influente? ¿Cuál es?			

Tabla 3.91 Evaluación recorrido en planta, caudal; filtración lenta

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se registran el caudal de operación normal a la entrada y salida y el gasto máximo y mínimo?			
¿Se conoce el tipo de medidor de caudal que se emplea? ¿Cuál sería?			
¿El flujo se encuentra igualmente distribuido en las diferentes unidades?			
¿Se realizan la calibración y mantenimiento de los medidores de flujo?			
¿Se realiza alguna derivación de caudal excedente o caudal de rechazo?			

Tabla 3.92 Evaluación recorrido en planta, caudal, criterios de diseño; filtración lenta

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿El caudal de diseño es igual al caudal medio?				Con almacenamiento	Caudal de diseño = caudal medio

## Pretratamiento

Tabla 3.93 Evaluación recorrido en planta, pretratamiento; filtración lenta

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se requiere pretratamiento?			
¿Se conoce en qué consiste?			
¿Existe sistema de presedimentación?			
¿Existe sistema de rejilla o cribado?			
En caso de existir filtración dinámica o gruesa como pretratamiento para remover sólidos suspendidos de mayor diámetro, ¿cuántas unidades de filtración se tienen?			
¿Se encuentran en serie o en paralelo?			
¿Se conoce si son de flujo ascendente o descendente?			
¿Se conoce el tipo de material filtrante?			
¿Se conoce el número de capas filtrantes?			

Tabla 3.94 Evaluación recorrido en planta, pretratamiento, criterios de diseño; filtración lenta

Concepto	Sí	No	Valor	Criterio de diseño de referencia	Valor
En caso de que exista presedimentador, ¿se determina el tiempo de retención? ¿Cuál sería?				Tiempo de retención	≥ 2 h
¿Se determina la carga superficial en caso de existir presedimentador? ¿Cuál sería?				Carga superficial	15 a 80 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d, para sedimentadores horizontales.
¿Se conoce la inclinación de las rejillas? ¿Cuál sería?				Inclinación de las rejillas	70 a 80° con respecto a la horizontal
¿Se conoce la separación entre las barras de rejillas? ¿Cuál sería?				Separación entre barras	75 a 150 mm para estructuras de captación en ríos con grava gruesa. 20 y 40 mm para ríos caracterizados por el transporte de gravas finas
¿Se conoce la velocidad de flujo a través de las rejillas? ¿Cuál sería?				Velocidad de flujo a través de las rejillas	≤ 0.15 m/s

## Filtración lenta

Tabla 3.95 Evaluación recorrido en planta, filtración; filtración lenta

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se reparte el flujo uniformemente entre los filtros?			
¿Se conoce el tipo de lecho filtrante? ¿Cuál es?			
¿Se remueve la capa superior del filtro lento cada determinado tiempo? ¿Cada cuándo?			
¿Se comprueba la calidad de agua a la salida de los filtros?			

Tabla 3.96 Evaluación recorrido en planta, filtración, criterios de diseño; filtración lenta

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿Se conoce el número de unidades en la filtración lenta?				Número de unidades filtración lenta	>2
¿Se conoce el espesor del lecho filtrante? ¿Cuál sería?				Espesor del lecho filtrante filtración lenta	0.8 a 1.0 m
¿Se conoce el tamaño efectivo de la arena en la filtración lenta? ¿Cuál sería?				Tamaño efectivo de la arena	0.15 a 0.35 mm
¿Se conoce la tasa de filtración lenta? ¿Cuál sería?				Tasa de filtración lenta	2.4 a 7.2 m/d

## Cloración

Tabla 3.97 Evaluación recorrido en planta, cloración; filtración lenta

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce el tipo de desinfectante que dosifica en el agua tratada?			
¿A qué concentración se emplea?			
¿Se conoce el tipo de dosificador que se emplea?			
¿Cómo se determina la dosis aplicada de cloro?			
¿Se conoce la concentración en mg/L de cloro residual que debe tener el efluente?			
¿Se llevan registros diarios del consumo de cloro?			
¿Se verifica el funcionamiento del equipo de seguridad en la zona de cloración?			

Tabla 3.98 Evaluación recorrido en planta, cloración, criterios de diseño; filtración lenta

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿Se conoce la dosis de cloro residual y el tiempo de contacto? ¿Cuál sería?				Dosis y tiempo de contacto	Cumplir con el valor que marca la norma: 0.2 a 1.5 mg/L de cloro residual. Por lo tanto dosificar más que 2-1.5 mg/L Tiempo de contacto: 30 min como mínimo antes de llegar al primer punto de distribución

**Nota:** La guía de evaluación para plantas potabilizadoras con filtración lenta sigue a partir del inciso c) Laboratorio al j) Grado de capacitación del personal de la planta.

- **Planta potabilizadora de patente**

De manera adicional a lo relacionado con el tipo de proceso de potabilización que se trate, en el caso de una planta potabilizadora de patente o de paquete se recomienda analizar los siguientes aspectos:

- **Adsorción mediante carbón activado**

Igualmente, de manera adicional, cuando se tenga en el tren de tratamiento carbón activado para eliminar olor, sabor o color se recomienda analizar los siguientes aspectos.

- **Nanofiltración**

En caso de tener nanofiltración en el tren de proceso, de manera adicional, se recomienda analizar los siguientes aspectos (continuando con los incisos de la guía de evaluación de todos los tipos de plantas potabilizadoras expuestos en este manual):

**c) Laboratorio:** En este apartado se revisará, durante el mismo recorrido en planta, lo referente al laboratorio y las pruebas y parámetros a los que se les da seguimiento.

Tabla 3.99 Evaluación recorrido en planta paquete o de patente

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se conoce el tipo de proceso de la planta paquete? ¿Cuál sería?			
¿Se trata de un proceso automatizado?			
¿Se conocen los parámetros que es necesario controlar?			
¿Se lleva control de calidad del influente y el efluente?			
¿Cuenta con medidor de presión?			
¿Tiene bombas dosificadoras de reactivos?			
¿Qué reactivos dosifican?			
¿Se cuenta con bombas de alimentación?			
¿Se cuenta con retrolavado de filtros automático?			

Tabla 3.100 Evaluación recorrido en planta, absorción con carbón activado

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se reparte el flujo uniformemente?			
¿Se conoce el volumen del carbón activado? ¿Cuál sería?			
¿Se conoce la altura del medio absorbente? ¿Cuál sería?			
¿Se conoce la granulometría del medio absorbente?			
¿Se comprueba la pérdida de carga de los filtros?			
¿Se tienen bien determinados los criterios para realizar el retrolavado? ¿Cuáles serían? (pérdida de carga/calidad de agua/tiempo.			
¿Se realiza con frecuencia el retrolavado?			
¿Se comprueba la calidad de agua a la salida del carbón activado?			
¿Se conoce cada cuando se regenera o se sustituye el carbón activado?			

Tabla 3.101 Evaluación recorrido en planta, carbón activado, criterios de diseño

Concepto	Si	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿Se conoce el número de unidades empacadas con carbón activado?				Número de unidades de filtración	>2
¿Se conoce el área superficial del carbón activado? ¿Cuál sería?				Área superficial del carbón activado (tipo bituminoso)	1 400-1 800 (m <sup>2</sup> /g)
¿Se conoce la densidad aparente del carbón activado? ¿Cuál sería?				Densidad aparente del carbón activado (tipo bituminoso)	0.38-0.41 (g/cm <sup>3</sup> )
¿Se conoce el espesor del lecho absorbente? ¿Cuál sería?				Espesor en función del tiempo de contacto	>1.0 m de altura
¿Se conoce el tiempo de contacto?				Tiempo de contacto	12 a 20 min
¿Se conoce la velocidad de retrolavado? ¿Cuál sería?				Velocidad de retrolavado en función de la expansión	Expansión de 30 a 50%

Tabla 3.102 Evaluación recorrido en planta, nanofiltración

Concepto	Sí	No	Observación
¿Existen filtros cartuchos antes de ingresar a la nanofiltración?			
¿De cuantos módulos se compone la nanofiltración?			
¿Se comprueba la pérdida de carga de los filtros?			
¿Se conoce con qué frecuencia se realiza el lavado?			
¿Se conoce qué sustancias químicas se emplean para el lavado?			
¿Se tienen bien determinados los criterios para realizar el retrolavado? ¿Cuáles serían? (pérdida de carga/calidad de agua/tiempo).			
¿Se realiza con frecuencia el retrolavado?			
¿Se comprueba la calidad de agua a la salida del carbón activado?			
¿Se conoce cada cuándo se regenera o se sustituye el carbón activado?			

Tabla 3.103 Evaluación recorrido en planta, nanofiltración, criterios de diseño

Concepto	Sí	Valor	No	Criterio de diseño de referencia	Valor
¿Se conoce la presión de operación de la nanofiltración? ¿Cuál sería?				Presión de operación	87 psi
¿Se conoce el porcentaje de recuperación? ¿Cuál sería?				Porcentaje de recuperación	90-95%

Tabla 3.104 Evaluación recorrido en planta, laboratorio

Concepto	Sí	No	Observación
¿Cuenta con laboratorio dentro de la planta potabilizadora?			
¿Se realizan pruebas de tratabilidad para el control del proceso? ¿En qué consisten?			
¿Se opera conforme indicaciones de laboratorio?			
¿Existe la capacidad analítica adecuada para las pruebas de control de los procesos?			
¿Se analizan parámetros de control de la operación de los procesos? ¿Cuáles?			
¿Se realizan muestreos en laboratorios externos a la planta potabilizadora? ¿Cada cuándo?			

**d) Cumplimiento del parámetro de interés en remoción según la Modificación a la NOM-127- SSA1-1994**

De acuerdo con la Modificación con la NOM-127-SSA1-1994 los límites permisibles para la calidad de agua potabilizada se muestran en el Anexo 2.

¿Qué parámetros de la modificación a la NOM-127-SSA-1994 son de mayor importancia para el proceso de potabilización? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¿Qué parámetros de la modificación a la NOM-127-SSA-1994 están causando problemática o no logran la concentración marcada en la normativa? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Tabla 3.105 Evaluación recorrido en planta, modificación a la NOM-127-SSA1-1994

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se manda hacer análisis en cumplimiento a la modificación a la NOM-127-SSA-1994 del influente y efluente periódicamente? ¿Cuántas veces al año?			
¿Cumple con la modificación a la NOM-127-SSA-1994 de manera total?			

e) **Manejo de productos químicos.** Referente a los materiales que se emplean durante el proceso.

f) **Políticas de mantenimiento (infraestructura, funcionamiento de unidades de proceso, equipos electromecánicos).** En este

apartado de la guía se evaluará el mantenimiento que se le da a la planta potabilizadora (tabla 3.107, tabla 3.108 y tabla 3.109). El procedimiento será el mismo que el anterior: se marcará en el formato si cumple o no con el rubro señalado y observaciones de ser el caso.

Tabla 3.106 Evaluación recorrido en planta, productos químicos

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se considera el registro de entrada de la materia prima?			
¿Se reporta la fecha y hora de turno?			
¿Se determina la pureza del material al ingresar a la planta?			
¿Se actualiza el inventario de materia prima regularmente?			
¿Se lleva una bitácora de control de los responsables que utilizan los materiales?			
¿Se registran la cantidad y nombre de los materiales utilizados en cada turno?			
¿Se lleva una bitácora de mantenimiento?			
¿Se especifica en qué consistió el mantenimiento (preventivo o correctivo)?			
¿Se realizan campañas de mantenimiento periódicas por parte del organismo operador al que dependen, si es el caso?			

Tabla 3.107 Evaluación recorrido en planta, mantenimiento

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se cuenta con las herramientas para dar mantenimiento a las unidades de proceso?			
¿Se cuenta con un inventario de refacciones?			
¿Se cuenta con el catálogo de las unidades de proceso?			
¿Se realizan programas de calibración?			
¿Cuenta con programas de mantenimiento correctivo y preventivo?			
¿Se conoce cada cuándo se realizan los programas de mantenimiento?			
¿Se lleva una bitácora de mantenimiento?			
¿Se especifica en qué consistió el mantenimiento (preventivo o correctivo)?			
¿Se realizan campañas de mantenimiento periódicas por parte del organismo operador al que dependen, si es el caso?			

Tabla 3.108 Evaluación recorrido en planta, equipos electromecánicos, mantenimiento

Concepto	Sí	No	Observación
¿Cada cuánto se realiza una inspección del estado físico y funcionamiento de las unidades de proceso y equipo electromecánicos?			
¿Se establece la fecha y hora de elaboración del reporte del estado físico de las unidades de proceso y equipos electromecánicos?			
¿Se incluyen el nombre completo y la firma de quien elabora el reporte?			

Tabla 3.109 Recorrido en planta, problemática funcionamiento de procesos, mantenimiento

Concepto	Sí	No	Observación
¿Fallan equipos o procesos por falta de mantenimiento preventivo o correctivo?			
¿Existen problemas para conseguir las refacciones, reactivos o materiales necesarios?			
¿Se pierde material filtrante por problemas de diseño?			
¿Existen problemas en el diseño de las unidades de proceso?			
¿Ha fallado la automatización?			
¿Existen problemas por el ajuste y la variación del caudal?			
¿Existe alguna unidad de proceso que actualmente no esté en funcionamiento?			
¿El agua es muy corrosiva y daña la infraestructura de la planta o es muy incrustante?			
¿Se han deteriorado bombas?			
¿Se han deteriorado válvulas?			
¿Se ha deteriorado la infraestructura?			
¿Se ha dañado alguna unidad de proceso?			
¿Se encuentra fuera de operación alguna unidad de proceso?			
¿Falta señalización?			
¿Falta equipo de seguridad?			
¿Falta iluminación en la planta?			
¿Falta limpieza u orden en la planta?			

\*Sumar los NO's para calificación en esta tabla.

**g) Procedimientos especiales (situaciones de emergencia):**

Con el objetivo de conocer y evaluar la reacción y los procedimientos establecidos en la planta potabilizadora frente a situaciones de emergencia, se llenará la

siguiente sección de la misma forma que las secciones anteriores (tabla 3.110).

**h) Personal operativo y supervisión (registros y reportes).** Se revisará además el control que se tiene para el personal operativo y la capacitación de los mismos (tabla 3.111).

Tabla 3.110 Evaluación recorrido en planta, situaciones de emergencia

Concepto	Sí	No	Observación
Al presentarse situaciones de variación importante de la calidad del agua, ¿se reduce el caudal de entrada a la planta? ¿Se modifican las dosis de los reactivos?			
Al presentarse una fuga de gas cloro, ¿se utiliza el equipo de seguridad? ¿Se detecta el sitio de la fuga y se cierra la válvula del tanque de cloro? ¿Se informa de inmediato al responsable de planta?			
Al presentarse un corto circuito eléctrico, ¿se detecta el sitio y la causa del corto? ¿Se interrumpe el flujo de energía desde el panel de control principal y se reporta al encargado de la planta?			
¿Se dispone de un programa general de acción para situaciones de emergencia?			

Tabla 3.111 Evaluación recorrido en planta, personal operativo y supervisión

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se lleva una bitácora de control de operación?			
¿Se establece el nombre y firma de la persona responsable de la planta?			
¿Se incluyen fecha y hora de inicio y entrega de turno?			
¿Se incluyen nombre completo y firma del responsable que entrega y el que recibe el turno?			
¿Se describen las actividades realizadas durante el turno?			
¿Se especifican las condiciones de entrega-recepción del turno?			
¿Se describen los eventos extraordinarios sucedidos durante el turno?			
¿Se incluye lista de pendientes a realizar en el turno que recibe?			
¿Se especifica el registro de los datos de operación establecidos durante el turno referente al menos a dosis de reactivos, caudal y retrolavados?			
¿Se porta el equipo de seguridad e higiene establecido por la normativa vigente?			
¿Se inspeccionan las condiciones de la planta potabilizadora siguiendo las rutas señaladas en los diagramas de flujo conforme a la secuencia del proceso?			
¿Se aplican los sistemas de protección de procesos y equipos cuando se presentan emergencias?			
¿Se busca mejorar la eficiencia del personal en la planta potabilizadora? ¿Cómo?			
¿Se capacita el personal regularmente? ¿De qué manera?			

## i) Administración

Tabla 3.112 Evaluación recorrido en planta, problemática administrativa

Concepto	Sí	No	Observación
¿Se dan problemas relacionados con los cambios en tiempos políticos o administrativos?			
¿Existen problemas en cuanto a que la administración pasada no haya dejado manuales o especificaciones de diseño?			
¿Se han tenido problemas relacionados a que la comunidad no acepte la planta potabilizadora?			

\*Sumar los NO's para calificación de esta tabla.

## j) Grado de capacitación del personal de la planta

Tabla 3.113 Evaluación recorrido en planta, preparación responsable de planta

Concepto	Sí	No	Observación
¿Hace falta mayor preparación, experiencia o capacitación del responsable de la planta?			
¿Hacen falta cursos de capacitación para los operarios de la planta?			

\*Sumar los NO's para calificación de esta tabla.

Comentarios finales respecto al funcionamiento y estado general de la planta potabilizado

---



---



---

Para el evaluador: marque con una X de manera general de acuerdo al análisis de la información recopilada si en la planta potabilizadora evaluada existen problemas de diseño, de operación, de estado físico de la planta, de administración o de mantenimiento.

- Problemas en el diseño ( )
- Problemas en la operación ( )
- Problemas en el estado físico de la planta ( )
- Problemas en la administración de la planta ( )
- Problemas en el mantenimiento de la planta ( )
- Problemas de cumplimiento a la calidad del agua potable ( )

### 3.4. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

La guía de evaluación se compone, como se comentó anteriormente de los siguientes aspectos:

- a) Ficha de datos generales de la planta potabilizadora
- b) Recorrido en planta, operación y evaluación de las unidades de proceso
- c) Laboratorio
- d) Cumplimiento del parámetro de interés en remoción según la modificación a la NOM-127-SSA1-1994
- e) Manejo de productos químicos
- f) Políticas de mantenimiento (infraestructura, funcionamiento de unidades de proceso y equipos electromecánicos)
- g) Procedimientos especiales (situaciones de emergencia)
- h) Personal operativo y supervisión (registros y reportes)
- i) Administración
- j) Grado de capacitación del personal de la planta

A cada aspecto de la guía se le asignará una ponderación, excepto al inciso *a*) que se refiere a datos generales. Se sumarán los reactivos que hayan sido marcados como SÍ. La suma de los SÍ se divide entre el total de reactivos y luego se multiplicará por el porcentaje ponderado para cada reactivo de la guía de evaluación.

Los rubros se dividirán entre el total de reactivos del inciso correspondiente y se multiplicarán por el porcentaje ponderado, esto debido a la naturaleza de las preguntas en estos rubros. Se hará una excepción con los rubros *j* (problemática relacionada con el funcionamiento de procesos), *k* (problemática relacionada con la administración de la planta), y *l* (problemática relacionada con la preparación del responsable de la planta), en los cuales se sumarán los NO.

A cada rubro se le asignaron los valores que se observan en la tabla 3.114, con base en la importancia de cada uno de los rubros para el funcionamiento de la planta potabilizadora. Un valor alto indica que la planta potabilizadora evaluada cumple con los requisitos evaluados.

Tabla 3.114 Porcentajes ponderados de evaluación por rubro

Rubro de evaluación	Porcentaje ponderado (%)
Operación de las unidades de proceso	40.0
Criterios de diseño	10.0
Políticas de mantenimiento (infraestructura, funcionamiento de unidades de proceso, equipos electromecánicos)	25.0
Laboratorio	5.0
Cumplimiento del parámetro de interés en remoción, según modificación a la NOM-127-SSA1-1994	5.0
Manejo de productos químicos	5.0
Procedimientos especiales (situaciones de emergencia)	2.5
Personal operativo y supervisión (registro y reportes)	2.5
Administración	2.5
Grado de capacitación del personal de la planta	2.5
Total de la evaluación	100

\*Los rubros operación de las unidades de proceso y criterios de diseño se evalúan durante el recorrido en planta en dos cuadros separados.

La ponderación anterior se basa en que las fallas en las unidades de proceso (en donde se incluyen consideraciones de diseño) tienen el peso más relevante para esta evaluación. En este aspecto, si existen fallas en el diseño, el tren de tratamiento y el mantenimiento de los equipos, será más grave el problema y requerirá de más recursos para corregirse. Sería menos grave si existen problemas o fallas en el monitoreo de los parámetros de control (laboratorio), en el control de los materiales, el manejo de las situaciones de emergencia y el manejo del personal operativo.

Al rubro del cumplimiento de la modificación a la NOM-127-SSA1-1994 se le da un valor alto ya que el propósito mismo de la planta potabilizadora es el cumplimiento con esta norma principalmente. Los rubros para identificar de manera más puntual si es una problemática que tiene que ver con el funcionamiento de los procesos, la infraestructura, la administración o la preparación del personal, son rubros que nos permiten afinar la información anteriormente recabada. Esto permite perfilar el diagnóstico hacia recomendaciones más oportunas y prácticas. A manera de guía de referencia se presenta la tabla 3.115. Esta priorización dependerá del contexto particular de cada planta evaluada.

Aunado a los valores resultantes en cada uno de los aspectos de la guía de evaluación, se analizará y considerará también la primera sección de la guía de evaluación referente a la ficha de datos generales. Además se analizará el último inciso de la evaluación referente a, según el criterio del evaluador, si la planta evaluada tiene:

- Problemas en el diseño
- Problemas en la operación
- Problemas en el estado físico de la planta

- Problemas en la administración de la planta
- Problemas en el mantenimiento de la planta

La calificación final nos lleva a tener elementos para rehabilitaciones, mejoras, cambios de diseño o priorización en la administración de las plantas potabilizadoras. La ilustración 3.14 muestra de manera gráfica los pasos a seguir para el proceso de evaluación.

### 3.5. INFORMACIÓN GENERAL DE LAS PLANTAS POTABILIZADORAS EVALUADAS

En este apartado se proseguirá a la sistematización y análisis de la información recabada para la evaluación. Para esto se realizará el llenado de la tabla 3.116 y tabla 3.117.

Una vez llenados estos formatos se recomienda graficar la información para lograr un mejor análisis.

### 3.6. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN

Siguiendo los criterios de evaluación presentados en el inciso 3.4) se realizarán los cálculos para determinar las calificaciones de las evaluaciones particulares de cada rubro y de manera general. El capítulo 4 (Calibración) y el Anexo 3 (hoja de cálculo) sirven de guía por si existiera duda en la determinación de las calificaciones de evaluación.

Tabla 3.115 Orden recomendada de priorización

Orden de priorización recomendado (variará dependiendo del contexto particular de la planta potabilizadora evaluada)
1.- Cumplimiento de la modificación a la NOM-127-SSA-1994
2.- Fallas en el diseño
3.- Fallas en las unidades de procesos
4.-Mantenimiento
5.-Manejo de situaciones de emergencia
6.-Administración
7.-Monitoreo de los parámetros de control
8.-Control de personal
9.-Control de materiales
10.-Grado de capacitación del personal de la planta

Ilustración 3.14 Diagrama del proceso de evaluación

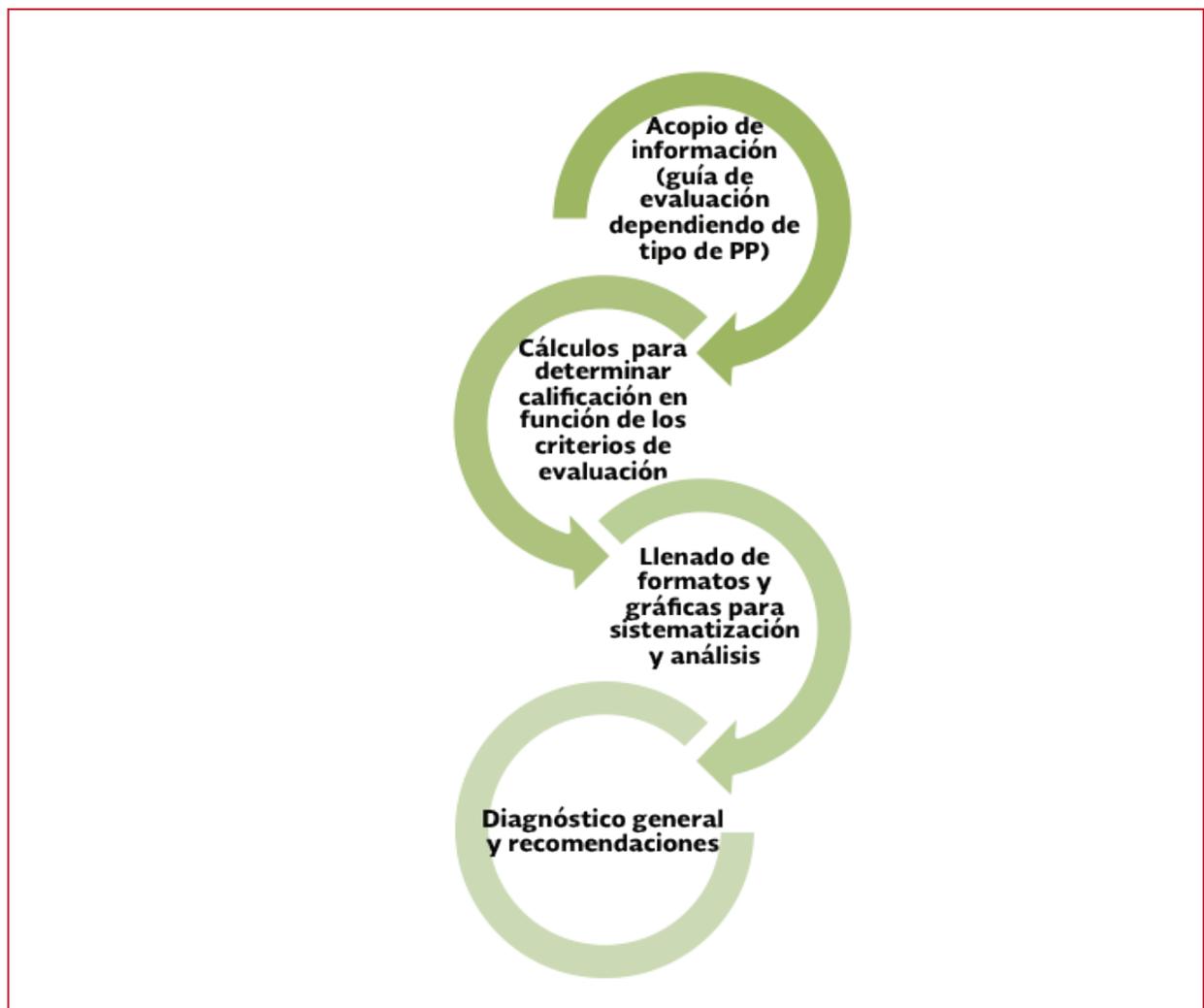


Tabla 3.116 Tipos de plantas potabilizadoras

Planta potabilizadora visitada	Estado	Clarificación convencional	Filtración directa	Filtración lenta	Carbón activado	Remoción de Fe y Mn	Ósmosis inversa	Ablandamiento	De paquete o patente

Tabla 3.117 Información general de las plantas potabilizadoras

Planta potabilizadora visitada	Tipo de planta potabilizadora	Caudal de diseño (L/s)	Caudal de operación (L/s)	Tipo de desinfección	Año de inicio de operaciones	Número de operarios	Porcentaje operación con respecto al caudal (%)	Característica fuente de abastecimiento	Parámetros problema en el influente	Conducción de influente

Tabla 3.118 Resultados ponderados plantas potabilizadoras evaluadas

Planta Potabilizadora visitada	Unidades de Proceso (40%)	Políticas de mant. (25%)	Criterios de diseño (10%)	Lab. (5%)	Modificación NOM 127 SSA1-1994 (5%)	Manejo de productos químicos (5%)	Sit. Em. (2.5%)	Personal (2.5%)	Problemática		TOTAL (%)
									Adm. (2.5%)	Capacitación (2.5%)	

Donde Mant: Mantenimiento; Lab: Laboratorio; Sit.Em: Situaciones de emergencia; Adm: Administración.

Tabla 3.119 Resultados evaluación plantas potabilizadoras visitadas

Planta potabilizadora visitada	Rehabilitación (SÍ/NO)	Ajustes al diseño original (SÍ/NO)	Mant. correctivo	Mant. preventivo	Cumple con modificación a la NOM-127-SSA1-1994	Problemática					
						Operación	Diseño	Estado físico	Adm.	C. de personal	Mant.

Mant: Mantenimiento; Adm: Administración; C. de personal: Capacitación de personal

Las tablas 3.118 y 3.119 presentan los formatos a llenar para sistematizar los resultados de la evaluación. Se recomienda graficar los resultados de evaluación general y de cada uno de los rubros evaluados (en caso de duda referirse a capítulo 4). Una calificación en la evaluación general de 70 por ciento significa que la planta evaluada trabaja bien pero puede mejorar. Menor al 70 por ciento indica que es necesario analizar a más detalle cada uno de los rubros evaluados para identificar donde está la falla o la oportunidad de mejora. Mayor al 70 por ciento indica que la planta potabilizadora trabaja correctamente. Si se obtiene una calificación mayor al 90 por ciento la planta potabilizadora trabaja eficientemente.

Para conocer el resultado de los rubros particulares debe referirse a las calificaciones y gráficas de los rubros evaluados uno por uno. Al ser una evaluación rápida, si se requiere mayor información se recomienda una evaluación a detalle.

### 3.7. DIAGNÓSTICO GENERAL

Con base en la ficha de datos generales, la evaluación y del último rubro de la guía de evaluación al llenar la tabla 3.120, se podrá ir identificando el diagnóstico general de la planta evaluada. Ya sea que presente problemas de diseño, de operación, de estado físico de la planta, de administración o de mantenimiento.

Dependiendo de la gravedad de la problemática particular en cada planta será la recomendación.

En caso de existir un problema grave de diseño o de ausencia de alguna unidad de proceso necesaria, se recomienda un reacomodo, rehabilitación o un nuevo diseño. Si el problema radica más en corregir o mejorar el funcionamiento de las unidades de proceso, se recomienda buscar la forma de dotar de las herramientas y la capacitación necesarias para el correcto funcionamiento de éstas. Si lo que se detecta es un problema de ausencia de laboratorio o instrumentos de análisis y control necesarios para controlar el parámetro de interés en la planta, se recomienda conseguir dichos instrumentos o buscar mandar muestras periódicamente a laboratorios externos en la zona.

Si el efluente no está cumpliendo con el parámetro de interés en la modificación a la NOM-127-SSA1-1994 debe corregirse para volverle el sentido a la planta potabilizadora y cumplir con la normativa vigente. El mantenimiento se considera un punto esencial a cuidar. Si en este diagnóstico refleja punto flaco en el mantenimiento, se recomienda tomarlo muy en cuenta y llevar las acciones de mantenimiento antes de que se vuelva un problema mayor y de mayor costo. También debe fijarse en si se está cumpliendo con los procedimientos ante situaciones de emergencia.

Problemas relacionados a control de personal, administración, control de productos químicos y capacitación, muestran puntos de oportunidad para mejorar llevando un control más adecuado de personal o solicitando y dando la capacitación pertinente. En la tabla 3.121 se da una guía de recomendaciones ante problemáticas en planta.

Tabla 3.120 Diagnósticos generales plantas potabilizadoras

Planta potabilizadora visitada	Problemática				
	Estado	Diseño	Operación	Estado físico de la planta	Mant.

Adm: Administración; Mant: Mantenimiento

Tabla 3.121 Recomendaciones ante problemáticas

<b>Problemática</b>	<b>Recomendaciones</b>
Problema en el diseño o ausencia de unidad de proceso necesaria	Dependiendo de la gravedad, reacomodo de unidades de proceso, rehabilitación o nuevo diseño
Problema en el funcionamiento de las unidades de proceso	Dotar de herramientas o capacitación necesaria para lograr el óptimo funcionamiento de las unidades de proceso
Ausencia de laboratorio e instrumentos de control de procesos y herramientas o reactivos	Tramitar apoyo para conseguirlos, buscar la manera de comprar los insumos y en caso de ausencia de laboratorio o instrumentos de control buscar mandar muestras periódicamente a laboratorios externos
El efluente no cumple con la modificación a la NOM-127-SSA1-1994	Foco rojo que requiere acciones para hacer cumplir esta normativa: corregir tren de tratamiento, eficientar unidades de proceso, rehabilitar o dar mantenimiento
Falta de mantenimiento preventivo o correctivo	Buscar siempre tener un programa de mantenimiento preventivo y correctivo para evitar fallas posteriores.
Situaciones de emergencia	Prestar especial atención a identificar las posibles situaciones de emergencia dependiendo del proceso y prever qué hacer en caso de un evento de emergencia
Control de personal o administración inadecuada	Buscar curso de capacitación, actualización y herramientas de control de personal y administración. Reemplazar personal en caso de ser necesario



# 4

## CALIBRACIÓN DE LA GUÍA DE EVALUACIÓN

### 4.1. INFORMACIÓN GENERAL DE LAS PLANTAS POTABILIZADORAS EVALUADAS PARA LA CALIBRACIÓN

Se visitaron diecisiete plantas potabilizadoras en diferentes puntos de la República Mexicana para calibrar esta guía de evaluación rápida. Como se mencionó anteriormente, este trabajo se basó en el “Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales, diciembre 2012” de Conagua. Se visitaron dos de cada tipo, a excepción de las plantas potabilizadoras de filtración lenta, de la cual solo se visitó una. También se visitaron tres de ósmosis inversa y tres de patente. En

la tabla 4.1 se observan las plantas potabilizadoras visitadas, indicadas con una letra por orden alfabético y el tipo de tratamiento de cada una de éstas.

El nombre de las plantas potabilizadoras visitadas para la calibración solo aparece en el informe final presentado a Conagua. En la tabla 4.2 se muestra información general relacionada con las plantas visitadas (el orden de aparición de las plantas potabilizadoras corresponde a las fichas técnicas del Anexo 1, por tipo de planta potabilizadora).

De la ilustración 4.1 a la ilustración 4.5 se muestran algunos de estos datos obtenidos de las plantas potabilizadoras en forma gráfica para su mejor comparación.

Tabla 4.1 Tipos de plantas potabilizadoras visitadas

Planta potabilizadora visitada	Estado	Clarificación convencional	Filtración directa	Filtración lenta	Carbón activado	Remoción de Fe y Mn	Ósmosis inversa	Ablandamiento	De paquete o patente
A	A	X							
B	B	X							
C	C		X						
D	D		X						
E	E			X					
F	F				X				
G	G				X				
H	H					X			
I	I					X			
J	J						X		
K	K						X		
L*	L						X		
M	M							X	
N	N							X	
O	O								X
P	P								X
Q	Q								X

\*Son 17 porque se visitó una extra de ósmosis inversa. Fe y Mn: hierro y manganeso

Tabla 4.2 Información general de las plantas visitadas

Planta potabilizadora visitada	Tipo de planta potabilizadora	Caudal de diseño (L/s)	Caudal de operación (L/s)	Desinfección producto utilizado	Año de inicio de operaciones	Número de operarios	Porcentaje operación con respecto al caudal (%)	Característica fuente de abastecimiento	Parámetros problema en el influente	Conducción de influente
A	Clarificación convencional	210	170	Hipoclorito de sodio	1979	13	80.95	Escorrentamiento superficial (río)	SST	Gravedad
B	Clarificación convencional	180	120	Gas cloro	1976	7	66.67	Escorrentamiento superficial (río)	Coliformes, nitratos y nitritos	Gravedad
C	Filtración directa	500	250	Hipoclorito de sodio	2009	11	50.00	Pozo profundo	Hierro, manganeso, nitrógeno amoniacal, sulfuros	Por bombeo
D	Filtración directa	5	5	NA	1994	1	100.00	Pozo profundo	SDT, alcalinidad, coliformes, arsénico, hierro, flúor, manganeso	Gravedad
E	Filtración lenta	0.7	0.7	Hipoclorito de sodio	2010	1	100.00	Presa	Turbiedad, color, hierro, coliformes fecales y totales	Por bombeo
F	Carbón activado	6.5	6.5	Hipoclorito de sodio	2004	6	100	Pozo profundo	Manganeso y hierro, SST, alcalinidad, nitrógeno amoniacal, sulfuros	Por bombeo
G	Carbón activado	40	22	Hipoclorito de sodio	2007	8	55	Pozo profundo	Turbiedad, conductividad eléctrica, alcalinidad, dureza, manganeso, cloruros, hierro	Por bombeo
H	Remoción de Fe y Mn	600	600	NA	2011	11	100	Pozo profundo	SST, turbiedad, dureza, cloruros, sulfuros, manganeso y hierro	Por bombeo
I	Remoción de Fe y Mn	650	650	Gas cloro	2002	22	100	Pozo profundo	Dureza, manganeso, cloruros, manganeso y hierro	Por bombeo
J	Ósmosis inversa	100	22	Hipoclorito de sodio	2008	7	22	Pozo profundo	Alcalinidad, dureza, cloruros, sulfuros, hierro, manganeso, conductividad eléctrica, SDT, nitrógeno amoniacal, DQO	Por bombeo

Tabla 4.2 Resultados ponderados plantas potabilizadoras evaluadas (continuación)

Planta potabilizadora visitada	Tipo de planta potabilizadora	Caudal de diseño (L/s)	Caudal de operación (L/s)	Desinfección producto utilizado	Año de inicio de operaciones	Número de operarios	Porcentaje de operación con respecto al caudal (%)	Característica fuente de abastecimiento	Parámetros problema en el influente	Conducción de influente
K	Ósmosis inversa	60	48	Hipoclorito de sodio	2008	6	80	Pozo profundo	Color, conductividad eléctrica, SDT, dureza	Por bombeo
L	Ósmosis inversa	60	35	Hipoclorito de sodio	2008	7	58.33	Pozo profundo	Color, turbiedad, conductividad eléctrica, alcalinidad, dureza, manganeso, cloruros y sulfuros	Por bombeo
M	Ablandamiento	185	102	Hipoclorito de sodio	2007	8	55.14	Pozo profundo	SST, dureza, conductividad eléctrica	Por bombeo
N	Ablandamiento	360	185	Hipoclorito de sodio	2002	12	51.39	Pozo profundo	Sulfuros, dureza, alcalinidad	Por bombeo
O	Filtración lenta	500	500	Hipoclorito de sodio	2009	8	100	Pozo profundo	Manganeso, SST	Por bombeo
P	Planta paquete	6	6	Hipoclorito de sodio	2005	2	100	Pozo profundo	Alcalinidad, SDT, coliformes,	Por bombeo
Q	Planta paquete	25	17	Hipoclorito de sodio	2013	1	68	Pozo profundo	Arsénico	Por bombeo

NA: No aplica, no se dosifica ningún producto para la desinfección del agua; Fe y Mn: Hierro y Manganeso; DQO: Demanda Química de Oxígeno; SDT: Sólidos Disueltos Totales; SST: Sólidos Suspendedos Totales

Ilustración 4.1 Capacidad de diseño y operación de las plantas potabilizadoras visitadas

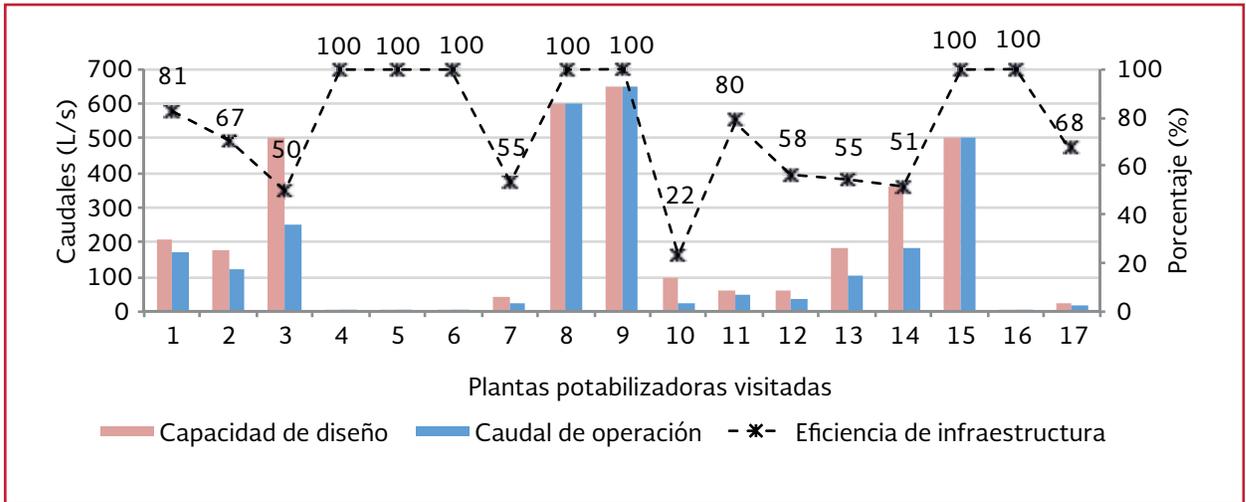


Ilustración 4.2 Tipos de desinfección plantas potabilizadoras visitadas

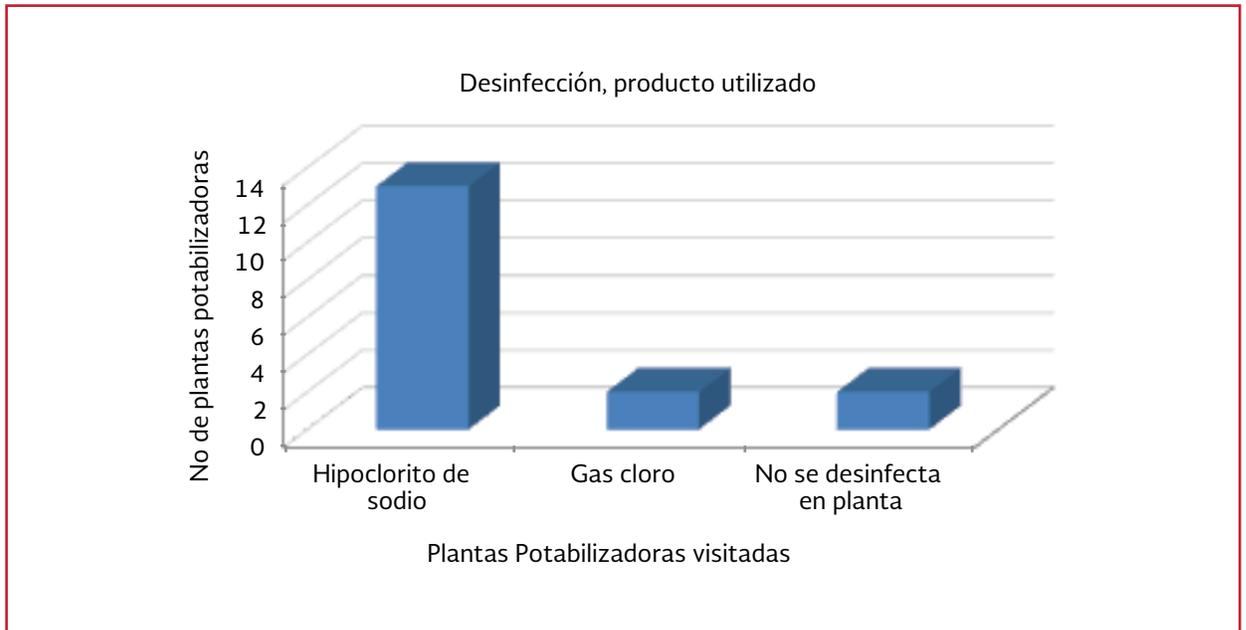


Ilustración 4.3 Año de inicio de operaciones plantas potabilizadoras visitadas



Ilustración 4.4 Características de suministro plantas potabilizadoras visitadas

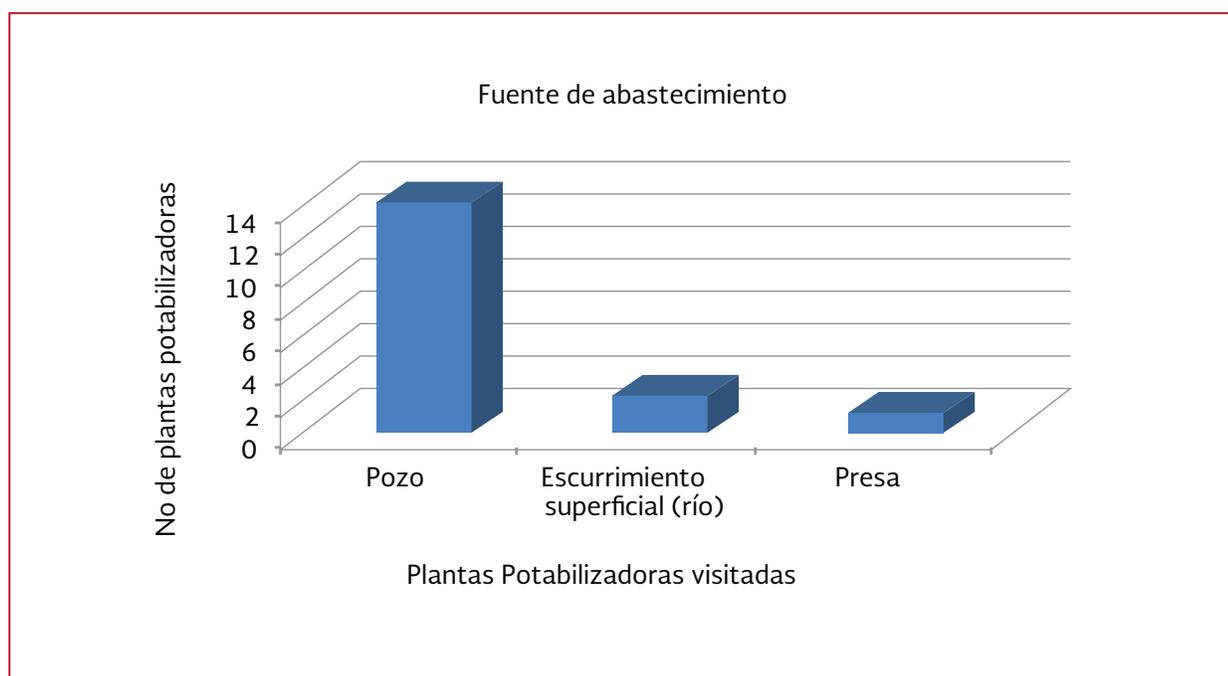
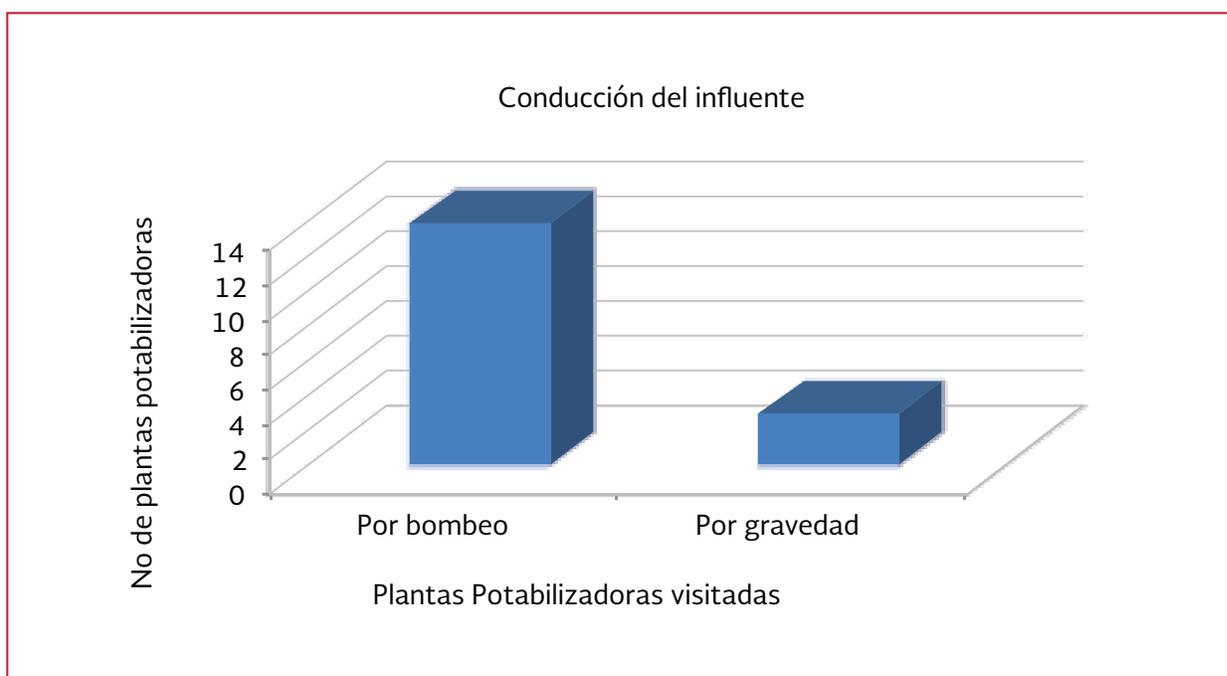


Ilustración 4.5 Modo de conducción del influente plantas potabilizadoras visitadas



## 4.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN

En las tablas 4.3 y 4.4 se muestran los resultados de cada uno de los rubros evaluados. En las ilustraciones 4.6 a la 4.20 se muestran de manera gráfica los resultados de las evaluaciones rápidas de manera general y para cada uno de los rubros evaluados empleando el instrumento de la guía de evaluación.

Se observa en la última columna de la tabla 4.3 que la evaluación general de las plantas los porcentajes indican: 70 por ciento significa que la planta evaluada trabaja bien pero puede mejorar. Menor al 70 por ciento indica que es necesario analizar a más detalle cada uno de los rubros evaluados para identificar donde está la falla o la oportunidad de mejora. Mayor al 70 por ciento indica que la planta potabilizadora trabaja correctamente. Si se obtiene una calificación mayor al 90% la planta potabilizadora trabaja eficientemente.

## 4.3. DIAGNÓSTICOS GENERALES DE LAS PLANTAS POTABILIZADORAS VISITADAS

Con base en la ficha de datos generales, de la evaluación y del último rubro de la guía de evaluación, en la tabla 4.5 se puede observar el diagnóstico general de cada una de las plantas potabilizadoras visitadas. En algunos casos se presentan problemas de diseño, de operación, de estado físico de la planta, de administración o de mantenimiento. En la tabla 4.6 se pueden observar las comparaciones respecto a las calificaciones mostradas en la tabla 4.3 y el porcentaje respectivo de cada rubro. Por ejemplo, para la planta planta potabilizadora A, en el rubro “unidades de proceso”, en la tabla 4.3 se observa una calificación de 31 con respecto al 40 por ciento asignado a ese rubro. En la tabla 4.6 se muestra el porcentaje que cumplió con respecto al total para este rubro. Es decir, en este ejem-

plo, la planta potabilizadora A, en el rubro de “unidades de proceso cumplió con un 77.5 por ciento en este rubro. De esta manera se podrá mostrar de manera más simplificada qué rubros tuvieron menor o mayor valor. Con fines ilustrativos se marca en la tabla 4.6, con verde fuerte, los rubros de las plantas potabilizadoras visitadas que cumplieron con la mayor calificación posible y con rojo los rubros que lograron

menos del 50 por ciento del valor asignado para cada rubro.

En la tabla 4.7 se muestran, por planta potabilizadora visitada, los rubros con calificación menor al 50 por ciento del valor asignado como máximo para cada rubro en la guía de evaluación y los temas con calificación igual al 100 por ciento del valor asignado como máximo para cada rubro.

Tabla 4.3 Resultados ponderados plantas potabilizadoras evaluadas

Planta Potabilizadora visitada	Unidades de Proceso de Proceso (40%)	Políticas de mant. (25%)	Criterios de diseño (10%)	Lab. (5%)	Modificación NOM-127-SSA1-1994 (5%)	Manejo de productos químicos (5%)	Sit. Em. (2.5%)	Personal (2.5%)	Administración (2.5%)	Capacitación (2.5%)	TOTAL (%)
A	31.00	8.47	4.80	4.30	5.00	5.00	2.50	2.11	2.50	2.50	68.18
B	29.63	8.60	3.65	2.85	2.50	5.00	1.66	1.35	2.50	2.50	60.24
C	25.52	7.98	2.25	0.62	2.50	0	2.50	1.15	0	1.12	43.64
D	23.00	7.82	1.40	2.14	5.00	0.83	2.50	2.50	2.50	1.25	48.94
E	34.33	17.50	10.0	2.85	5.00	4.16	2.50	1.40	1.66	1.25	80.65
F	33.42	14.72	2.90	4.30	5.00	4.20	2.50	2.50	0	1.50	71.04
G	20.21	11.30	1.50	1.43	2.50	0	1.25	1.35	2.50	2.50	44.54
H	24.15	6.10	0	0.62	2.50	0	2.50	0.35	0	1.25	37.47
I	24.21	20.27	5.10	5.00	2.50	5.00	2.50	2.50	2.50	2.50	72.21
J	21.76	11.00	0	4.30	2.50	0	1.25	1.40	2.50	2.50	47.21
K	15.69	17.90	0	2.85	2.50	0	1.25	1.34	0	1.25	42.78
L	20.00	15.27	0.48	2.85	2.50	0	2.50	1.54	2.50	2.50	50.14
M	38.33	20.13	1.80	5.00	2.50	5.00	2.50	2.30	1.60	2.50	81.66
N	37.28	22.28	5.60	4.28	2.50	4.16	2.50	2.11	2.50	2.50	85.71
O	27.75	15.25	4.50	4.30	5.00	4.20	2.50	2.11	2.50	2.50	70.61
P	27.50	23.33	1.84	3.33	5.00	5.00	2.50	2.50	2.50	2.50	76.00
Q	27.60	20.97	2.40	2.86	5.00	5.00	2.50	1.35	1.66	1.50	70.84

Donde Mant: mantenimiento; Lab: laboratorio; Sit.Em: situaciones de emergencia

Tabla 4.4 Resultados evaluación plantas potabilizadoras visitadas

Planta potabilizadora visitada	Rehabilitación (SI/NO)	Ajustes al diseño original (SI/NO)	Mant. correctivo	Mant. preventivo	Cumple con Modificación a la NOM-127-SSA1-1994	Problemática					
						Operación	Diseño	Estado físico	Adm.	C. de personal	Mant.
A	No	Sí	Sí	No	Sí	No	No	Sí	No	No	Sí
B	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí	Sí	No	No	Sí
C	Si	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí
D	No	No	Sí	No	Sí	No	No	Sí	No	Sí	Sí
E	Sí	No	Sí	No	Sí	No	No	No	No	Sí	Sí
F	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	No
G	No	No	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	No	No	Sí
H	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
I	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	No	No	No	Sí
J	No	No	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí
K	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	No	No	Sí
L	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	No	No	No
M	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	No	No	Sí
N	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	No	No	No
O	No	No	Sí	No	Sí	No	No	No	No	No	Sí
P	No	No	Sí	No	Sí	No	No	No	No	No	Sí
Q	No	No	Sí	No	Sí	No	No	No	Sí	No	No

Mant: mantenimiento; Adm: administración; C. de personal: capacitación de personal

Ilustración 4.6 Evaluación general

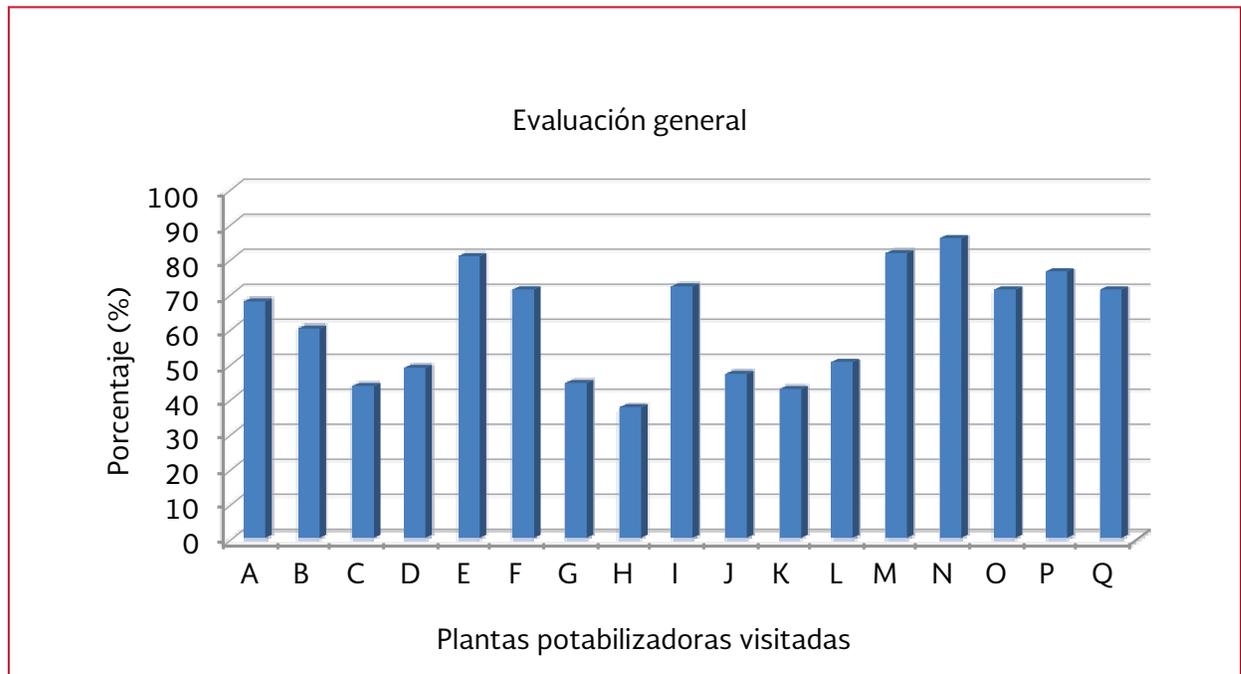


Ilustración 4.7 Evaluación unidades de proceso

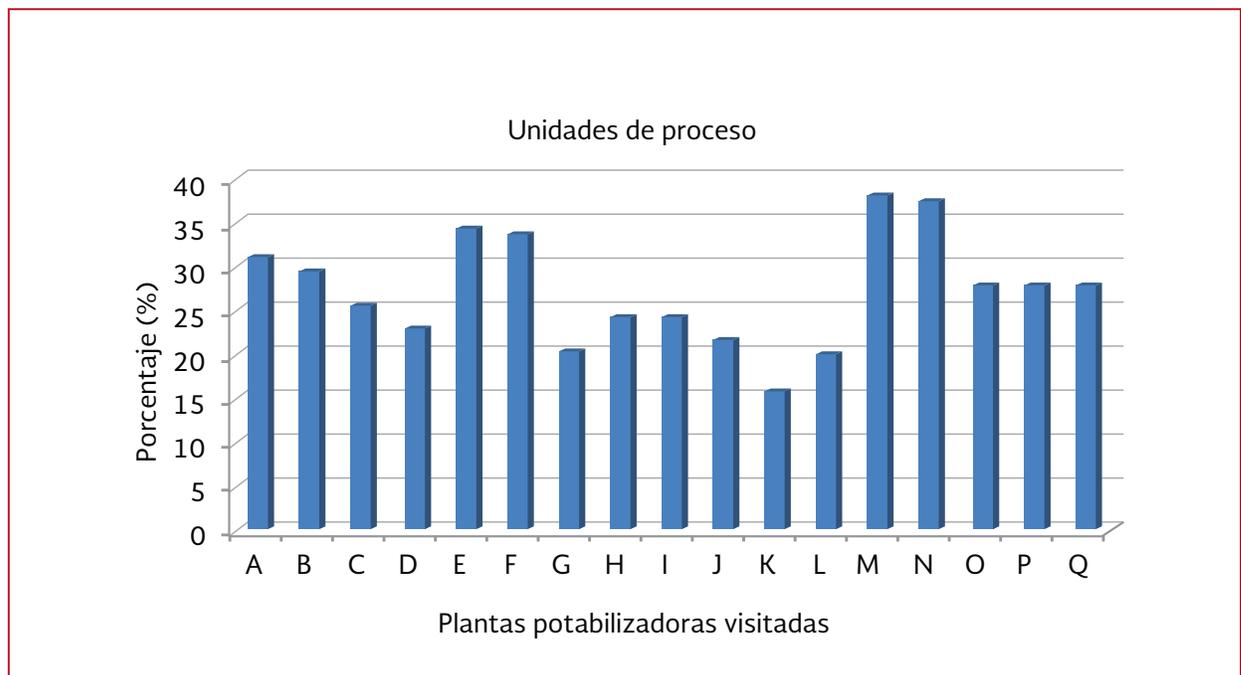


Ilustración 4.8 Evaluación mantenimiento (infraestructura, funcionamiento de unidades de proceso, equipos electromecánicos)

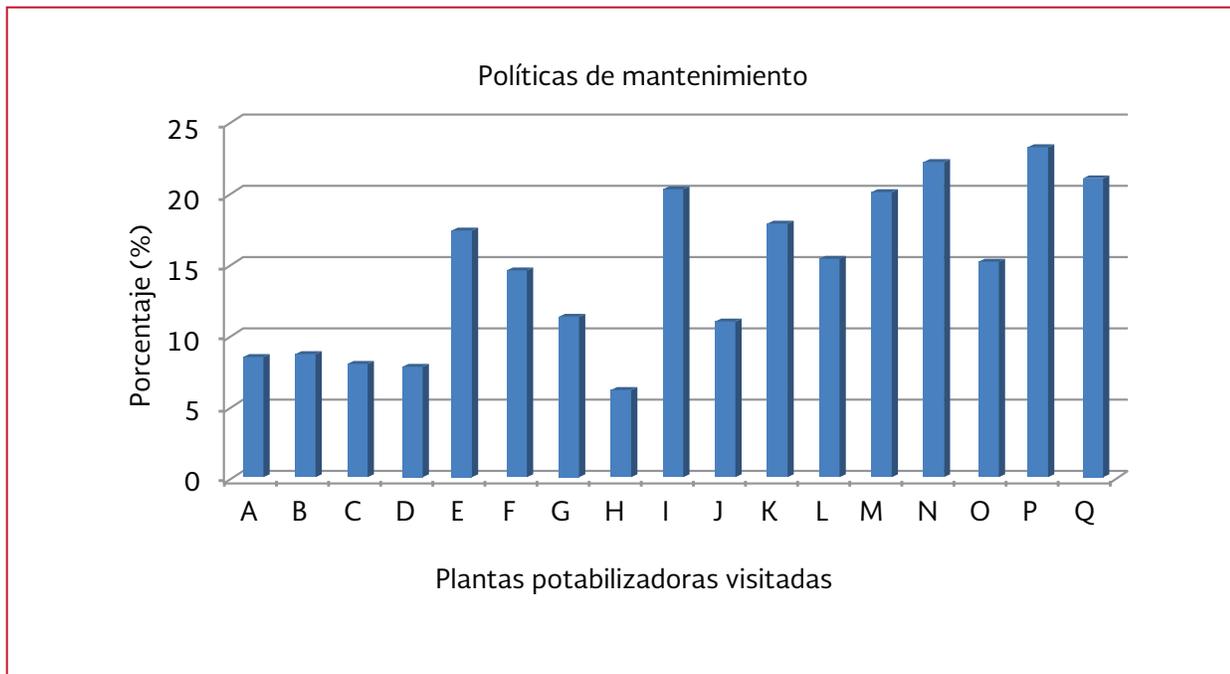


Ilustración 4.9 Evaluación criterios de diseño

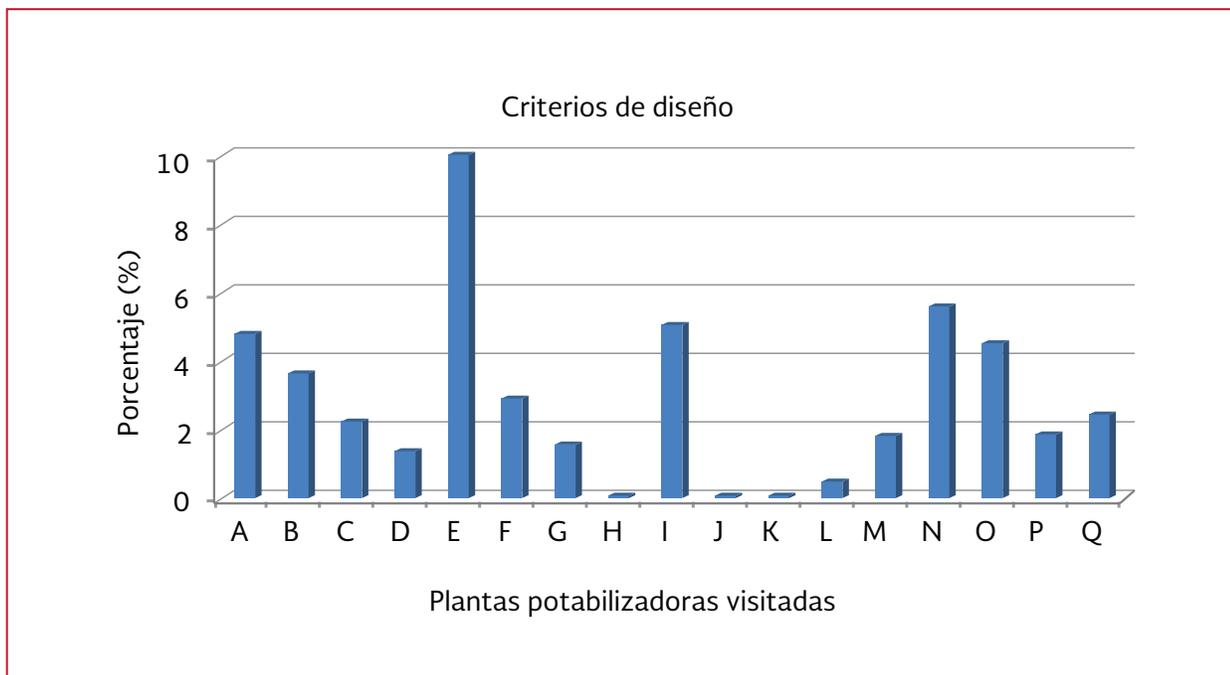


Ilustración 4.10 Evaluación laboratorio

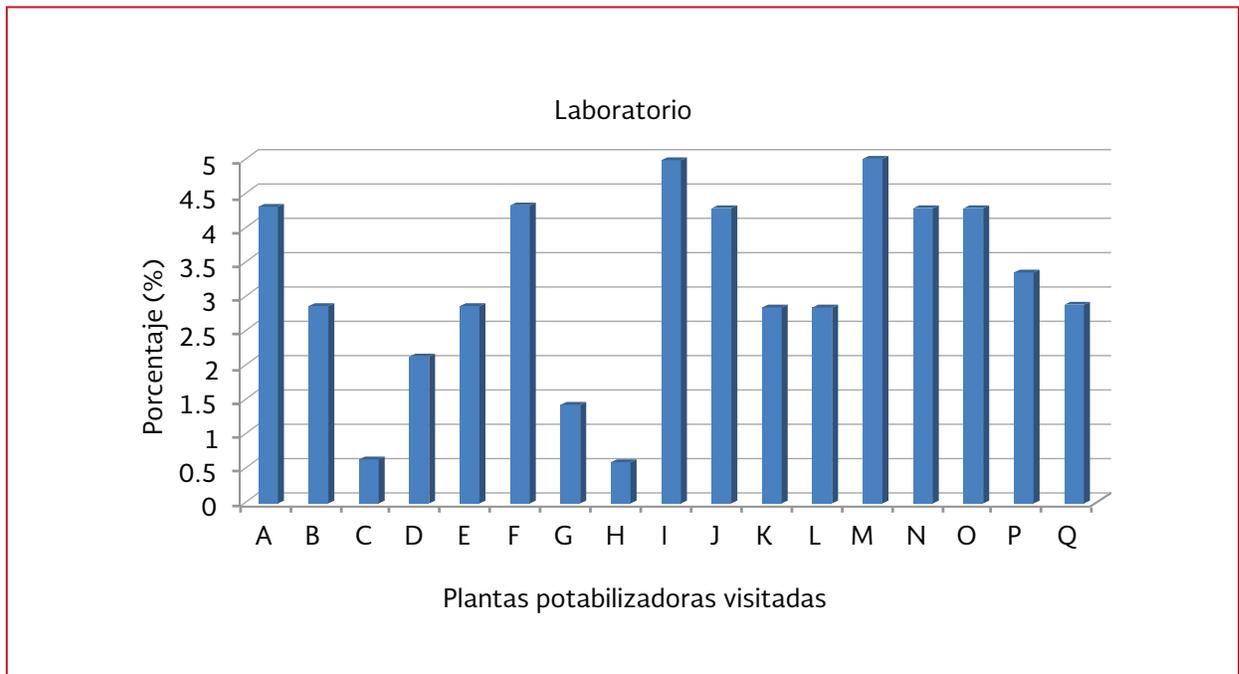


Ilustración 4.11 Evaluación cumplimiento modificación a la NOM-127-SSA1-1994

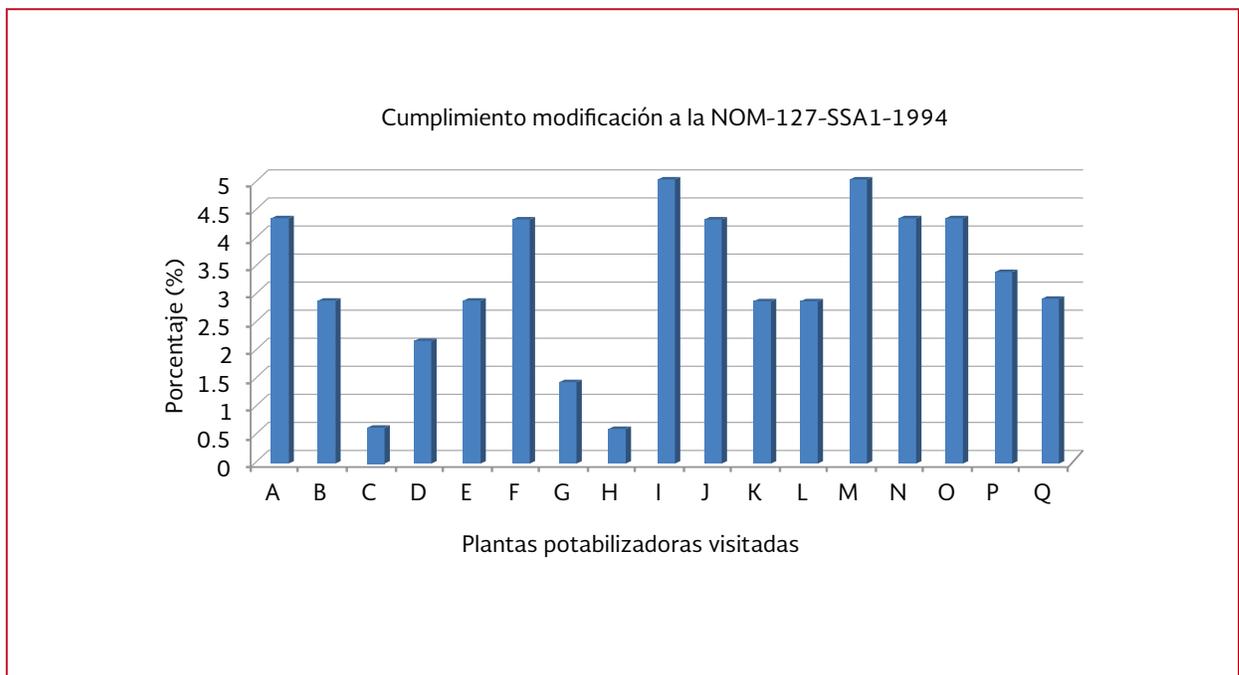


Ilustración 4.12 Evaluación productos químicos

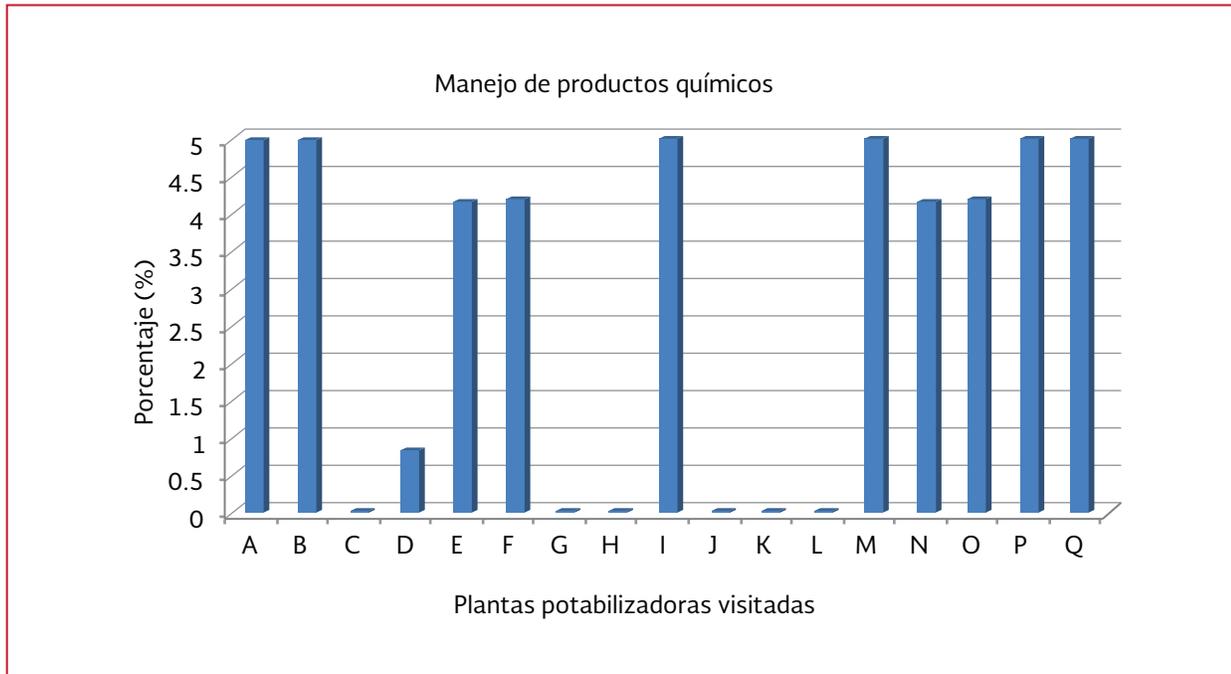


Ilustración 4.13 Evaluación procedimientos especiales (situaciones de emergencia)

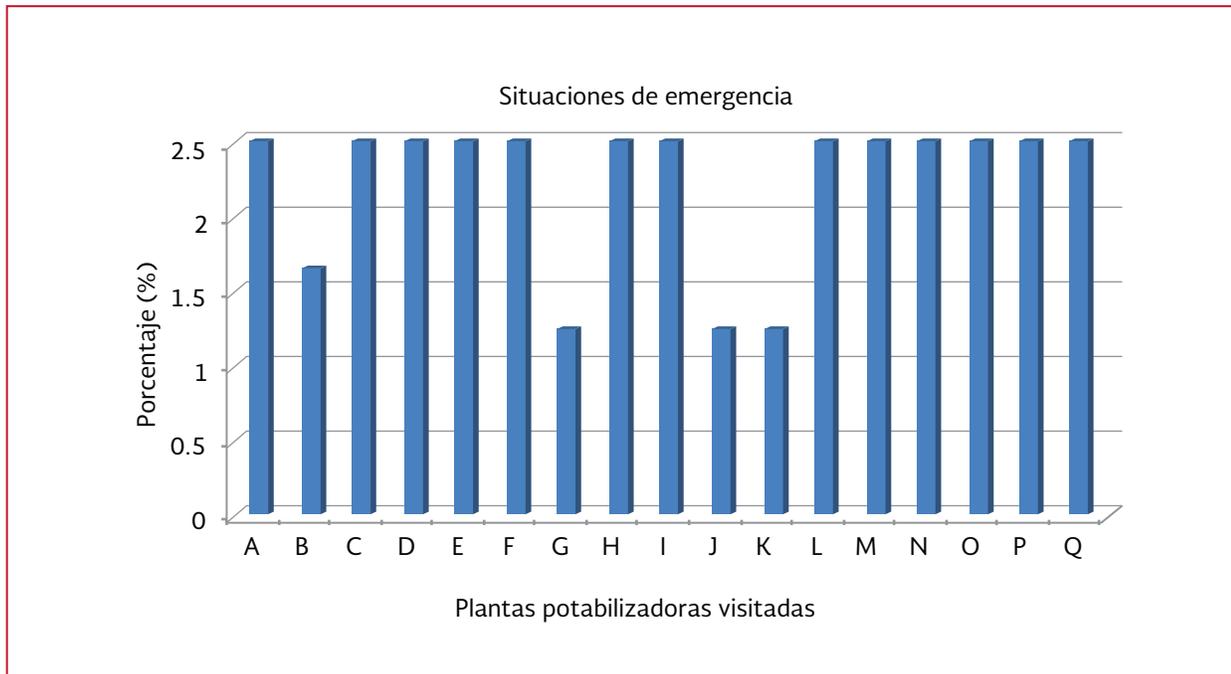


Ilustración 4.14 Evaluación personal operativo y supervisión (registros y reportes)



Ilustración 4.15 Evaluación administración

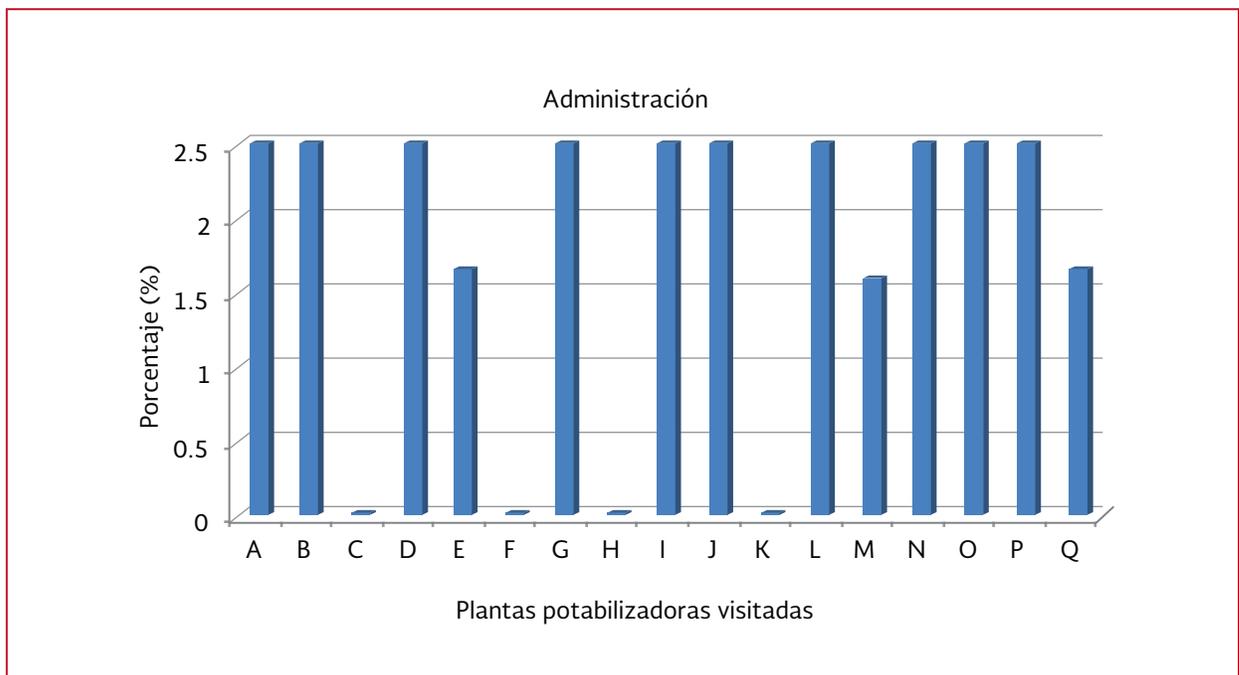


Ilustración 4.16 Evaluación grado de capacitación del personal de la planta

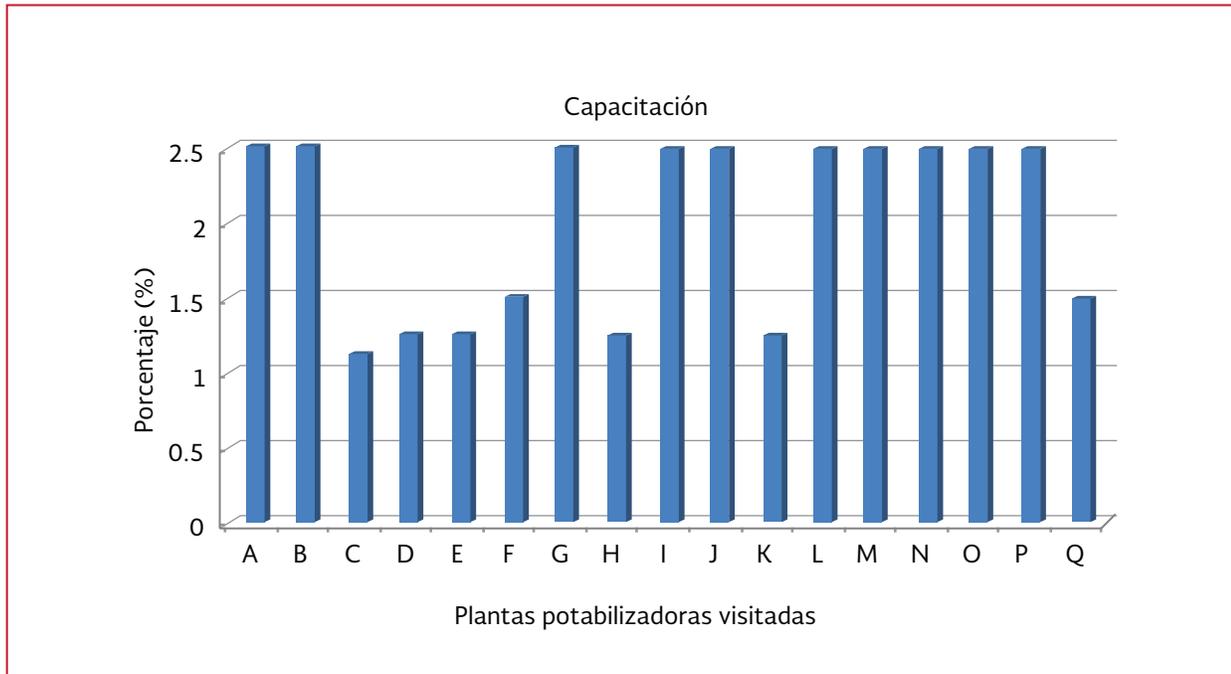


Ilustración 4.17 Rehabilitación plantas potabilizadoras visitadas

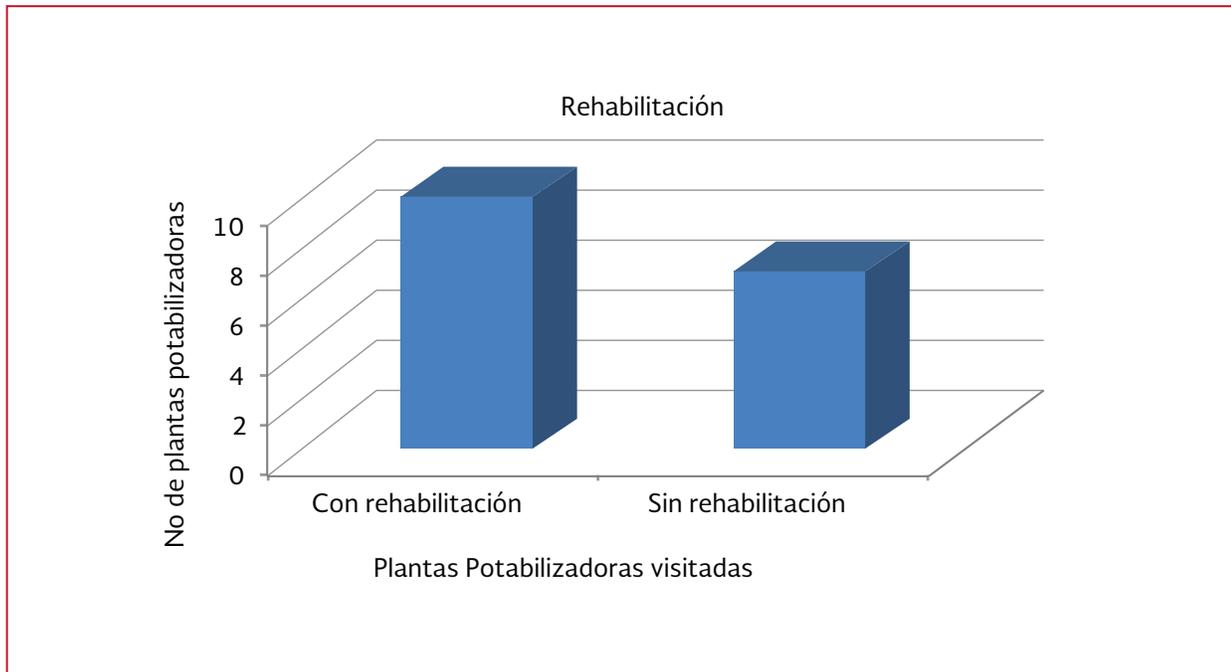


Ilustración 4.18 Ajustes al diseño original de plantas potabilizadoras visitadas

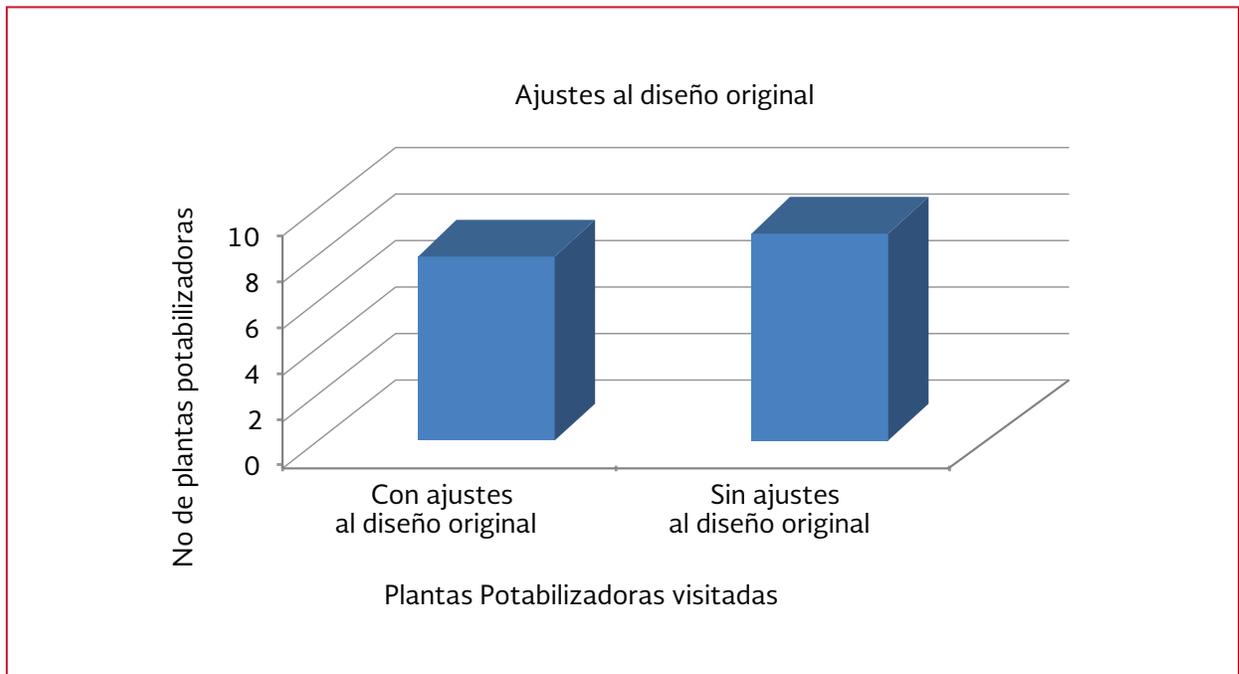


Ilustración 4.19 Análisis resultados evaluación; mantenimiento preventivo o correctivo

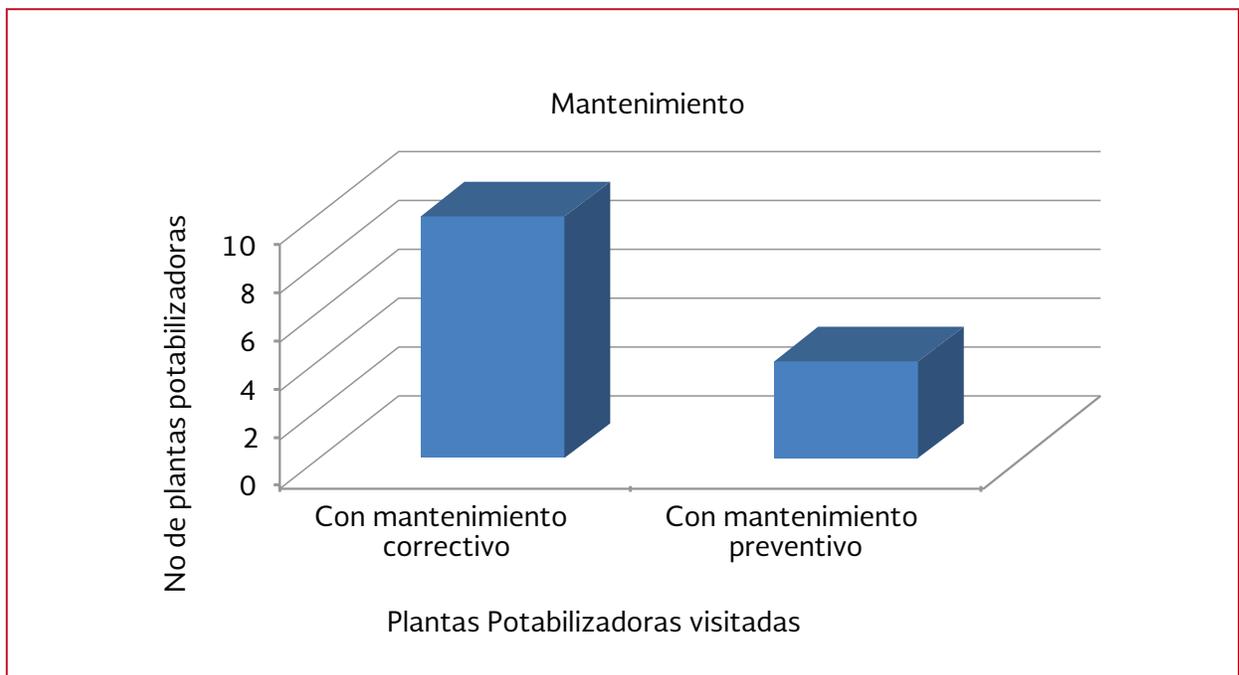


Ilustración 4.20 Análisis resultados evaluación; problemáticas en planta

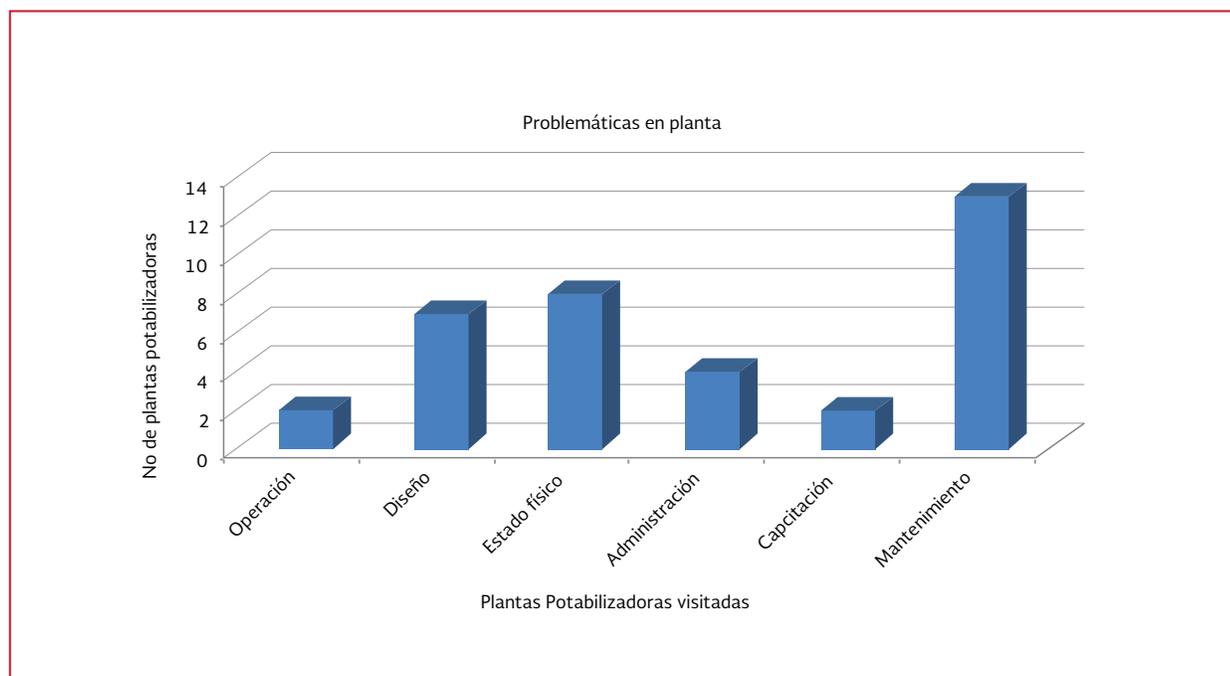


Tabla 4.5 Diagnósticos generales plantas potabilizadoras visitadas

Planta potabilizadora visitada	Estado	Problemática				
		Diseño	Operación	Estado físico de la planta	Adm.	Mant.
A	A			X		X
B	B	X		X		X
C	C	X		X	X	X
D	D			X		X
E	E					X
F	F				X	
G	G			X		X
H	H	X	X	X	X	X
I	I	X				X
j	J	X	X	X		X
K	K	X				X
L	L	X				
M	M					X
N	N			X		
O	O					X
P	P					X
Q	Q				X	

Adm: administración; Mant: mantenimiento

Tabla 4.6 Porcentajes logrados en cada rubro de las plantas potabilizadoras visitada

Planta Potabilizadora visitada	Unidades de Proceso	Políticas de mant.	C. de diseño	Lab.	M. a NOM-127-SSA1-1994	Manejo de productos químicos	Sit. Em.	Control de Personal	Adm.	Capacit.
A	77.50	33.88	48.00	86.00	100	100	100	84.40	100	100
B	74.08	34.40	36.50	57.00	50.00	100	66.40	54.00	100	100
C	63.8	31.92	22.50	12.40	50.00	0	100	46.00	0	44.80
D	57.50	31.28	14.00	42.80	100	16.60	100	100	100	50.00
E	85.83	70.00	100	57.00	100	83.20	100	56.00	66.40	50.00
F	83.55	58.88	29.00	86.00	100	84.00	100	100	0	60.00
G	50.53	45.20	15.00	28.60	50.00	0	50.00	54.00	100	100
H	60.38	24.40	0	12.40	50.00	0	100	14.00	0	50.00
I	60.53	81.08	51.00	100	50.00	100	100	100	100	100
J	54.40	44.00	0	86.00	50.00	0	50.00	56.00	100	100
K	39.23	71.60	0	57.00	50.00	0	50.00	53.60	0	50.00
L	50.00	61.08	4.80	57.00	50.00	0	100	61.60	100	100
M	95.83	80.52	18.00	100	50.00	100	100	92.00	64.0	100
N	93.20	89.12	56.00	85.60	50.00	83.20	100	84.40	100	100
O	69.38	61.00	45.00	86.00	100	84.00	100	84.40	100	100
P	68.75	93.32	18.40	66.60	100	100	100	100	100	100
Q	69.00	83.88	24.00	57.20	100	100	100	54.00	66.4	60.00

Dónde: C: criterios; Lab: laboratorio; M. a. NOM-127-SSA1-1994: modificación a la NOM-127-SSA1-1994; Mant: mantenimiento; Sit. Em: situaciones de emergencia; Adm: administración; Capacit: Capacitación

Tabla 4.7 Rubros menores al 50% del valor asignado e iguales al 100%

Planta potabilizadora visitada	Estado	Calificación menor al 50% del valor asignado como máximo para cada rubro	Rubros con calificación igual al 100% del valor asignado
A	A	-Conocimiento de los criterios de diseño -Mantenimiento	-Cumplimiento de la modificación a la NOM-127-SSA1-1994 -Manejo de productos químicos -Situaciones de emergencias -Administración -Capacitación
B	B	-Conocimiento de los criterios de diseño -Mantenimiento	-Administración -Manejo de productos químicos -Capacitación
C	C	-Conocimiento de los criterios de diseño -Laboratorio -Mantenimiento -Control de personal -Capacitación	-Situaciones de emergencia
D	D	-Conocimiento de los criterios de diseño -Mantenimiento -Laboratorio -Productos químicos	-Cumplimiento de la modificación a la NOM-127-SSA1-1994 -Situaciones de emergencia -Control de personal -Administración
E	E	-	-Condiciones de los criterios de diseño -Cumplimiento de la modificación a la NOM-127-SSA1-1994 -Situaciones de emergencia
F	F	-Conocimiento de los criterios de diseño	-Cumplimiento de la modificación a la NOM-127-SSA1-1994 -Situaciones de emergencia -Control de personal

Tabla 4.7 Rubros menores al 50% del valor asignado e iguales al 100% (continuación)

Planta potabilizadora visitada	Estado	Calificación menor al 50% del valor asignado como máximo para cada rubro	Rubros con calificación igual al 100% del valor asignado
G	G	-Conocimiento de los criterios de diseño	-Administración
		-Mantenimiento	-Capacitación
H	H	-Laboratorio	-Situaciones de emergencia
		-Mantenimiento	
I	I	-Control de personal	
		-	-Laboratorio
			-Manejo de productos químicos
			-Situaciones de emergencia
			-Control de personal
J	J		-Administración
		-Mantenimiento	-Capacitación
K	K	-Unidades de proceso	-
L	L	-Conocimiento de los criterios de diseño	-Situaciones de emergencia
			-Administración
M	M		-Capacitación
		-Conocimiento de los criterios de diseño	-Laboratorio
			-Manejo de productos químicos
			-Situaciones de emergencia
N	N		-Capacitación
		-	-Situaciones de emergencia
O	O		-Administración
		-Conocimiento de los criterios de diseño	-Cumplimiento de la modificación a la NOM-127-SSA1-1994
			-Situaciones de emergencia
			-Administración
		-Capacitación	

Tabla 4.7 Rubros menores al 50% del valor asignado e iguales al 100% (continuación)

Planta potabilizadora visitada	Estado	Calificación menor al 50% del valor asignado como máximo para cada rubro	Rubros con calificación igual al 100% del valor asignado
P	P	-Conocimiento de los criterios de diseño	-Cumplimiento de la modificación a la NOM-127-SSA1-1994 -Manejo de productos químicos -Situaciones de emergencia -Control de personal -Administración -Capacitación
Q	Q	-Conocimiento de los criterios de diseño	-Cumplimiento de la modificación a la NOM-127-SSA1-1994 -Manejo de productos químicos -Situaciones de emergencia

\*Nota: las columnas vacías indican que para esa planta potabilizadora visitada no hubo ya sea calificación con porcentaje menor al 50% del valor asignado máximo para cada rubro ni calificación con porcentaje igual a 100 el valor asignado como máximo para cada rubro.

## CONCLUSIONES DEL LIBRO

El presente manual de evaluación rápida de plantas potabilizadoras es una herramienta práctica y útil para determinar el estado general y el funcionamiento de las plantas que requieran evaluación.

El funcionamiento adecuado de un tren de potabilización estará en función de la capacidad de la planta diseñada para alcanzar los objetivos de calidad del agua, la topografía y condiciones particulares del sitio. También, en función de la visión general del sistema, la flexibilidad y facilidad de operación, la capacidad del proceso para poder ampliarse y actualizarse y la disponibilidad de personal capacitado. Es necesario recordar que el buen diseño del tren de tratamiento, la capacidad de los responsables de adecuarse a los recursos con los que se cuentan, el seguimiento que se le pueda dar en los cambios administrativos y el que existan manuales o guías claras de procedimientos permiten un buen funcionamiento.

De las 17 plantas potabilizadoras visitadas se puede inferir que la mayor parte tiene como fuente de suministro pozos profundos de baja calidad de agua. Muy pocas cuentan con mantenimiento preventivo, mientras que la mayoría ha sufrido alguna rehabilitación o cambio en su diseño original y no todas cumplen con la normativa de calidad de agua vigente.

La problemática que presentó mayor incidencia en las plantas potabilizadoras visitadas fue el mantenimiento, seguida por problemas en el estado físico de la planta, problemas de diseño, problemas de operación, falta de capacitación de personal y problemas administrativos.



# BIBLIOGRAFÍA

- Ackers, J., Brandt, M., & Powell, J. (2001). *Hydraulic Characterisation of Deposits and Review of Sediment Modelling*. London, Uk. : UK Water Industry Research, 01/DW/03/18.
- American Water Works Association. (2002). *Calidad y Tratamiento del Agua. Quinta Edición*. España: McGraw-Hill Profesional.
- American Water Works Association. (2007). *Reverse osmosis and nanofiltration*. Denver,CO: American Water Works Association (AWWA).
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua*. Bogotá, Colombia: Tercera Edición; Mc Graw Hill; ACODAL (Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental).
- ASCE, A. (n.d.). "Water Treatment Plant Design". *Second Edition. Cap 5*. USA: Coagulation and Flocculation.
- AWWA. (2012). "Water Treatment Plant Design". *Second Edition. Cap 5*. USA: Coagulation and Flocculation-American Water Works Association (AWWA).
- Cheung, C. P. (2001). *Sorption kinetic analysis for the removal of cadmium from effluents using bone char*. USA: Water Research. 35(3):605-612.
- CONAGUA. (2011). *Estadísticas del Agua en México*. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- CONAGUA. (2012). *Estadísticas del Agua en México*. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)-Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- CONAGUA. (2012). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación, Diciembre 2012*. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)-Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- CONAGUA. (2012). *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)-Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- CONAGUA. (2013). *Atlas del Agua en México*. México D.F.: CONAGUA.
- CONAGUA. (2013). *Situación Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. México, D.F.: SEMARNAT.
- CONOCER. (2012). *Evaluación de la competencia de candidatos con base a Estandares de Competencia.. México*.
- Eisenberg, T. N., & Middlebrooks, E. J. (1986). *Reverse Osmosis Treatment of drinking water*. España: Stoneham, Mas. Butlerworths.
- EPA. (1999). *Folleto Informativo de Tratamiento de Aguas Residuales: Desinfección*. Washington D.C.: United States Environmental Protection Agency.
- Garrido, H. S. (2012). *Operación de Plantas Potabilizadoras, Estandar de Competencia*. Cuernavaca, Morelos: CONOCER (Conocimiento, competencia y crecimiento). México.
- Gutiérrez, L. G. (2000). *Teoría de la medición de caudales y volúmenes de agua e Instrumental necesario disponible en el mercado* (Vol. Medida y evaluación de las extracciones de agua subterránea. ITGE). Madrid, España: Tecnológico Geominero de España

- (ITGE).
- Iglesias, M. F. (1999). *Osmosis Inversa: Fundamentos, tecnologías y aplicaciones*. España: McGraw-Hill.
- IMTA. (2004). *Evaluación de Plantas Potabilizadoras. Curso-Taller Iberoamericano*. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).
- IMTA. (2007). *Curso Diseño de Plantas Potabilizadoras, Material Tecnológico*. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)-Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- IMTA. (2011). *Presentación Curso Asistencia Técnica para el Diseño de Plantas Potabilizadoras*.
- IMTA-SARH. (1992). *Manual de aforos*. Jiutepec, Morelos: Secretaría de Agricultura y Recursos Hídricos (SARH).
- Kawamura, S. (2000). *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities*. United States of America: Second Edition; John Wiley & Sons, Inc.
- M, F. I. (1999). *Osmosis inversa: fundamentos, tecnología y aplicaciones*. Barcelona. España: McGraw-Hill Interamericana de España.
- Motley, S. R. (2000). *Water Works Engineering*. USA: Prentice Hall .
- NOM 127 SSA1. (1994). *Modificación a la Norma oficial mexicana NOM 127-SSA-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO HUMANO- LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACIÓN*. México D.F.: Diario Oficial de la Federación 1999.
- NOM-127-SSA1-1994. (n.d.). *Norma Oficial Mexicana "Modificación a la Norma Oficial Mexicana, Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización"*.
- OMS. (1992). *Guidelines for Drinking Water Quality*. Ginebra: Vol. 2. Health Criteria and Other Supporting Information Pathogenic Agents.
- OPS/CEPIS. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano; Plantas de Filtración Rápida. Manual I: Teoría* (Vol. OPS/CEPIS/PUB/04.109). Lima: Organización Panoamericana de la Salud (OPS) y Centro Panoamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).
- Piña, M. (2011). *Presentación sobre Tecnología para remoción de hierro y manganeso del agua para uso y consumo humano*. Morelos: IMTA; Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua; Subcoordinación de Potabilización.
- Rojas, J. A. (2000). *Purificación del Agua*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rojas, J. R. (1999). *Calidad del agua* (Segunda Edición ed.). México, D.F.: Alfaomega; Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sommerfeld, E. O. (1999). *Iron and Manganese Removal Handbook*. Denver, CO: American Water Works Association (AWWA).
- Weber, W. J. (1979). *Control de la calidad del agua Procesos fisicoquímicos*. Barcelona, España: Reverté.

# GLOSARIO

**Ablandamiento:** proceso de remoción de los iones de calcio y magnesio, principales causantes de la dureza del agua.

**Adsorción:** remoción de iones y moléculas de una solución que presentan afinidad a un medio sólido adecuado, de forma tal que son separadas de la solución.

**Aforo:** acción que consiste en medir el gasto que pasa a través de la sección transversal de una corriente.

**Agua para uso y consumo humano:** aquella que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos al ser humano.

**Bombeo de agua cruda:** el bombeo de agua cruda se localiza generalmente en la obra de toma. Su propósito es elevar el agua de la fuente a una altura adecuada de tal manera que el agua pueda fluir por gravedad. Las bombas centrífugas son las más utilizadas en sistemas de abastecimiento, pudiendo ser verticales, horizontales o sumergidas.

**Canal:** conducto artificial que sirve para conducir el agua de un lugar a otro, empleando únicamente la fuerza de la gravedad.

**Características bacteriológicas:** son aquellas debidas a microorganismos nocivos a la salud humana. Para efectos de control sanitario se determina el contenido de indicadores generales

de contaminación microbiológica, específicamente organismos coliformes totales y organismos coliformes fecales.

**Características físicas y organolépticas:** son aquellas que se detectan sensorialmente. Para efectos de evaluación, el sabor y olor se ponderan por medio de los sentidos y el color y la turbiedad se determinan por medio de métodos analíticos de laboratorio.

**Características químicas:** son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos, que como resultado de investigación científica se ha comprobado que pueden causar efectos nocivos a la salud humana.

**Carga hidráulica:** es la distancia vertical comprendida desde un punto determinado hasta la superficie libre del agua.

**Caudal:** volumen de agua que pasa por una tubería o canal por unidad de tiempo.

**Coagulación química:** adición de compuestos químicos al agua, para alterar el estado físico de los sólidos disueltos, coloidales o suspendidos, a fin de facilitar su remoción por precipitación o filtración.

**Coagulantes:** sustancias químicas que sirven para desestabilizar las partículas pequeñísimas (coloides) para que se unan, aumenten de tamaño y peso y puedan removerse por sedimentación o filtración.

**Conduccion de agua cruda:** se diseña para controlar el movimiento del agua que es extraída de la obra de toma a la planta de tratamiento.

**Contaminantes del agua:** constituyentes indeseables en el agua o fuente de abastecimiento. Estos pueden ser orgánicos o inorgánicos

**Contracción:** reducción de la sección transversal del flujo de agua después de pasar por un orificio o vertedor.

**Cresta:** es la sección por donde escurre el agua. En el vertedor triangular, la cresta es el vértice y en el vertedor rectangular es el borde inferior horizontal.

**Cribar o cernir:** consiste en hacer pasar el agua a través de rejas o tamices que retienen los sólidos de tamaño mayor a la separación de las barras, como ramas, palos y toda clase de residuos sólidos. También está considerado en esta clasificación el microcernido, que consiste básicamente en triturar las algas reduciendo su tamaño para que puedan ser removidas mediante sedimentación.

**Desinfección:** destrucción de organismos patógenos por medio de la aplicación de productos químicos o procesos físicos.

**Equipo de seguridad e higiene:** es el equipo mínimo de protección del operador de la planta tal como botas, uniforme, casco, guantes, lentes y mascarilla.

**Equipo dosificador:** es el dispositivo capaz de proporcionar cantidades prefijadas de productos químicos por unidad de tiempo, de acuerdo a los requerimientos de cantidad y calidad del agua a tratar.

**Filtración:** consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso, normalmente de arena, en el cual actúan una serie de mecanismos de remoción cuya eficiencia depende de las características de la suspensión (agua más partículas) y del medio poroso.

**Floculación:** es la etapa siguiente a la coagulación. Es un proceso físico en el que pequeñas partículas desestabilizadas durante la coagulación se agregan para formar partículas más grandes llamadas flocs o flóculos.

**Flóculo:** partícula formada en la floculación por la unión de partículas más pequeñas desestabilizadas en la coagulación y que tienen la propiedad de sedimentar fácilmente.

**Garganta:** parte contraída de un canal o de una obra, con una sección de desagüe mínima, que es siempre más pequeña que la sección de entrada o salida.

**Intercambio iónico:** como su nombre lo indica, este proceso consiste en un intercambio de iones entre la sustancia que desea remover y un medio sólido a través del cual se hace pasar el flujo de agua. Este es el caso del ablandamiento del agua mediante resinas, en el cual se realiza un intercambio de iones de calcio y magnesio por iones de sodio, al pasar el agua a través de un medio poroso constituido por zeolitas de sodio. Cuando la resina se satura de iones de calcio y magnesio, se regenera introduciéndola en un recipiente con una solución saturada de sal.

**Límite permisible:** concentración, contenido máximo o intervalo de valores de un componente, que garantiza que el agua será agradable a los sentidos y no causará efectos nocivos a la salud del consumidor.

**Lodos:** residuos de las plantas potabilizadoras que resultan de la adición y reacción de diferentes compuestos químicos con las sustancias presentes en el agua.

**Mezcla rápida:** es el mezclado de los coagulantes con el agua cruda, cuyo propósito principal es mezclar instantáneamente y distribuir uniformemente los reactivos en el agua.

**Obra de toma:** obra que se construye para extraer el agua de un río, lago o presa considerando la variación de niveles que presentan estas fuentes de abastecimiento. La estructura puede ser tan simple como un tubo sumergido o tan complejo como una estructura que incluya casa de bombas, compuertas, rejillas, subestación eléctrica, etc.

**Ósmosis inversa:** proceso esencialmente físico para remoción de iones y moléculas disueltos en el agua, en el cual por medio de altas presiones se fuerza el paso de ella a través de una membrana semipermeable de porosidad específica, reteniéndose en dicha membrana los iones y moléculas de mayor tamaño.

**Oxidación:** introducción de oxígeno en la molécula de compuestos para formar óxidos.

**Pérdida de carga:** pérdida de presión del agua por el paso a través de una válvula, codo, medio filtrante o por su recorrido a través de un tramo de tubería.

**Plantas potabilizadoras:** tienen por objetivo producir agua que satisfaga los límites marcados en las normas de calidad para los consumidores.

**Potabilización:** conjunto de operaciones y procesos, físicos o químicos que se aplican al agua a fin de mejorar su calidad y hacerla apta para uso y consumo humano.

**Procesos unitarios de potabilización:** el tratamiento se realiza con reacciones químicas o biológicas.

**Rejilla:** barras de diferente grosor y distancia entre estos, que conforman una pantalla y se ponen sobre una abertura para evitar el paso de basuras gruesas en el tratamiento y potabilización de agua.

**Retrolavado:** proceso mediante el cual para lavar un filtro, se aplica el flujo de agua en sentido ascendente, hasta lograr que el lecho se expanda y las partículas no estén más en contacto unas con otras. Como el flujo bajo estas condiciones es generalmente turbulento, la agitación obliga a las partículas a chocar entre ellas, lo que favorece el desprendimiento de la suciedad retenida en las mismas.

**Sedimentación:** consiste en promover condiciones de reposo en el agua, para remover, mediante la fuerza gravitacional, las partículas en suspensión más densas. Este proceso se realiza en los desarenadores, presedimentadores, sedimentadores y decantadores. En estos últimos, con el auxilio de la coagulación.

**Situación de emergencia:** situación de cambio imprevisto en las características del agua por contaminación externa, que ponga en riesgo la salud humana o su vida. Así mismo como fugas de gas cloro o situaciones en planta de emergencia.

**Soda ash:** carbonato de sodio o carbonato sódico es una sal blanca y translúcida de fórmula química  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

**Tirante:** distancia vertical comprendida desde el fondo del canal hasta el nivel del agua.

**Tren de tratamiento:** conjunto de operaciones unitarias o procesos unitarios que conforman el proceso de potabilización.

**Unidad mecánica:** unidad de energía mezclada, se da mediante sistemas mecánicos.

**Velocidad:** distancia recorrida por unidad de tiempo.

**Vertedor:** estructura colocada en la sección transversal de una corriente y cuya función es derivar, regular o medir el gasto que escurre a través de éste.

# TABLA DE CONVERSIONES DE UNIDADES DE MEDIDA

Sigla	Significado	Sigla	Significado
mg	miligramo	kg/m <sup>3</sup>	kilogramo por metro cúbico
g	gramo	l/s	litros por segundo
kg	kilogramo	m <sup>3</sup> /d	metros cúbicos por día
mm	milímetro	Sm <sup>3</sup> /h	condiciones estándar de metro cúbico por hora
cm	centímetro	Scfm	condiciones estándar de pies cúbicos por minuto
m	metro	°C	grados Celsius
ml	mililitro	psia	libra-fuerza por pulgada cuadrada absoluta
l	litro	cm/s	centímetro por segundo
m <sup>3</sup>	metro cúbico	m/s	metro por segundo
s	segundo	HP	caballo de fuerza (medida de energía)
h	hora	kW	kilowatt
d	día	UNT	unidades nefelométricas de turbiedad
mg/l	miligramo por litro		

## Longitud

Sistema métrico	Sistema Inglés	Siglas
1 milímetro (mm)	0.03	in
1 centímetro (cm) = 10 mm	0.39	in
1 metro (m) = 100 cm	1.09	yd
1 kilómetro (km) = 1 000 m	0.62	mi
<b>Sistema Inglés</b>	<b>Sistema métrico</b>	
1 pulgada (in)	2.54	cm
1 pie (ft) = 12 pulgadas	0.30	m
1 yarda (yd) = 3 pies	0.91	m
1 milla (mi) = 1 760 yardas	1.60	km
1 milla náutica (nmi) = 2 025.4 yardas	1.85	km

## Superficie

Sistema métrico	Sistema inglés	Siglas
1 cm <sup>2</sup> = 100 mm <sup>2</sup>	0.15	in <sup>2</sup>
1 m <sup>2</sup> = 10 000 cm <sup>2</sup>	1.19	yd <sup>2</sup>
1 hectárea (ha) = 10 000 m <sup>2</sup>	2.47	acres
1 km <sup>2</sup> = 100 ha	0.38	mi <sup>2</sup>
Sistema Inglés	Sistema métrico	
1 in <sup>2</sup>	6.45	cm <sup>2</sup>
1 ft <sup>2</sup> = 144 in <sup>2</sup>	0.09	m <sup>2</sup>
1 yd <sup>2</sup> = 9 ft <sup>2</sup>	0.83	m <sup>2</sup>
1 acre = 4 840 yd <sup>2</sup>	4 046.90	m <sup>2</sup>
1 milla <sup>2</sup> = 640 acres	2.59	km <sup>2</sup>

## Volumen/capacidad

Sistema métrico	Sistema inglés	Siglas
1 cm <sup>3</sup>	0.06	in <sup>3</sup>
1 dm <sup>3</sup> = 1 000 cm <sup>3</sup>	0.03	ft <sup>3</sup>
1 m <sup>3</sup> = 1 000 dm <sup>3</sup>	1.30	yd <sup>3</sup>
1 litro (L) = 1 dm <sup>3</sup>	1.76	pintas
1 hectolitro (hL) = 100 L	21.99	galones
Sistema Inglés	Sistema métrico	
1 in <sup>3</sup>	16.38	cm <sup>3</sup>
1 ft <sup>3</sup> = 1 728 in <sup>3</sup>	0.02	m <sup>3</sup>
1 onza fluida EUA = 1.0408 onzas fluidas RU	29.57	mL
1 pinta (16 onzas fluidas) = 0.8327 pintas RU	0.47	L
1 galón EUA = 0.8327 galones RU	3.78	L

## Masa/peso

Sistema métrico	Sistema inglés	
1 miligramo (mg)	0.0154	grano
1 gramo (g) = 1 000 mg	0.0353	onza
1 kilogramo (kg) = 1 000 g	2.2046	libras
1 tonelada (t) = 1000 kg	0.9842	toneladas larga
Sistema Inglés	Sistema métrico	
1 onza (oz) = 437.5 granos	28.35	g
1 libra (lb) = 16 oz	0.4536	kg
1 stone = 14 lb	6.3503	kg
1 hundredweight (cwt) = 112 lb	50.802	kg
1 tonelada larga = 20 cwt	1.016	t

## Temperatura

$$^{\circ}C = \frac{5}{9} (^{\circ}F - 32)$$

$$^{\circ}F = \frac{9}{5} (^{\circ}C) + 32$$

Otros sistemas de unidades		Multiplicado por	Sistema Internacional de Unidades (SI)	
Unidad	Símbolo	Factor de conversión	Se convierte a	
<b>Longitud</b>				
Pie	pie, ft.,'	0.30	metro	m
Pulgada	plg, in,"	25.40	milímetro	mm
<b>Presión/esfuerzo</b>				
Kilogramo fuerza/cm <sup>2</sup>	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	98 066.50	pascal	Pa
Libra/pulgada <sup>2</sup>	lb/ plg <sup>2</sup> , PSI	6 894.76	pascal	Pa
atmósfera técnica	at	98 066.50	pascal	Pa
metro de agua	m H <sub>2</sub> O (mca)	9 806.65	pascal	Pa
mm de mercurio	mm Hg	133.32	pascal	Pa
bar	bar	100 000.00	pascal	Pa
<b>Fuerza/ peso</b>				
kilogramo fuerza	kg <sub>f</sub>	9.80	newton	N
<b>Masa</b>				
libra	lb	0.45	kilogramo	kg
onza	oz	28.30	gramo	g
<b>Peso volumétrico</b>				
kilogramo fuerza/m <sup>3</sup>	kg <sub>f</sub> /m <sup>3</sup>	9.80	N/m <sup>3</sup>	N/m <sup>3</sup>
libra /ft <sup>3</sup>	lb/ft <sup>3</sup>	157.08	N/m <sup>3</sup>	N/m <sup>3</sup>
<b>Potencia</b>				
caballo de potencia	CP, HP	745.69	watt	W
caballo de vapor	CV	735.00	watt	W
<b>Viscosidad dinámica</b>				
poise	μ	0.01	pascal segundo	Pa s
<b>Viscosidad cinemática</b>				
viscosidad cinemática	v	1	stoke	m <sup>2</sup> /s (St)
<b>Energía/ Cantidad de calor</b>				
caloría	cal	4.18	joule	J
unidad térmica británica	BTU	1 055.06	joule	J
<b>Temperatura</b>				
grado Celsius	°C	tk=tc + 273.15	grado Kelvin	K

Nota: El valor de la aceleración de la gravedad aceptado internacionalmente es de 9.80665 m/s<sup>2</sup>

Longitud								
de / a	mm	cm	m	km	mi	milla náutica (nmi)	ft	in
mm	1.000	0.100	0.001					
cm	10000	1.000	0.010				0.033	0.394
m	1 000.000	100.000	1.000	0.001			3.281	39.370
km			0.001	1.000	0.621	0.540	3 280.83	0.039
mi			1 609.347	1.609	1.000	0.869	5 280.000	
nmi			1 852.000	1.852	1.151	1.000	6 076.115	
ft		30.480	0.305				1.000	12.000
in	25.400	2.540	0.025				0.083	1.000

Superficie								
de / a	cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	ha	mi <sup>2</sup>	acre	ft <sup>2</sup>	in <sup>2</sup>
cm <sup>2</sup>	1.00						0.001	0.155
m <sup>2</sup>	10 000.00	1.00					10.764	1 550.003
km <sup>2</sup>			1.000	100.000	0.386	247.097		
ha		10 000.00	0.010	1.000	0.004	2.471		
mi <sup>2</sup>			2.590	259.000	1.000	640.000		
acre		4 047.00	0.004	0.405	0.002	1.000		
ft <sup>2</sup>	929.03	0.09					1.000	0.007
in <sup>2</sup>	6.45						144.000	1.000

Volumen								
de / a	cm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	L	ft <sup>3</sup>	gal. EUA	acre-ft	in <sup>3</sup>	yd <sup>3</sup>
cm <sup>3</sup>	1.000		0.001				0.061	
m <sup>3</sup>		1.000	1 000.000	35.314	264.200			1.307
L	1 000.000	0.001	1.000	0.035	0.264		61.023	
ft <sup>3</sup>		0.028	28.317	1.000	7.481			0.037
gal. EUA		0.004	3.785	0.134	1.000		230.974	
acre-ft		1 233.490				1.000		
in <sup>3</sup>	16.387		0.016		0.004		1.000	
Yd <sup>3</sup>		0.765		27.000				1.000

Gasto								
de / a	l/s	cm <sup>3</sup> /s	gal/día	gal/min	l/min	m <sup>3</sup> /día	m <sup>3</sup> /h	ft <sup>3</sup> /s
l/s	1.000	1 000.000		15.851	60.000	86.400	3.600	0.035
cm <sup>3</sup> /s	0.001	1.000	22.825	0.016	0.060	0.083		
gal/día		0.044	1.000			0.004		
gal/min	0.063	63.089	1 440.000	1.000	0.000	5.451	0.227	0.002
l/min	0.017	16.667	0.000	0.264	1.000	1.440	0.060	
m <sup>3</sup> /día	0.012	11.570	264.550	0.183	0.694	1.000	0.042	
m <sup>3</sup> /h	0.278		6 340.152	4.403	16.667	24.000	1.000	0.010
ft <sup>3</sup> /s	28.316			448.831	1 698.960	2 446.590	101.941	1.000

Eficiencia de pozo			
de	a	gal/min/pie	l/s/m
gal/min/pie		1.000	0.206
l/s/m		4.840	1.000

Permeabilidad							
de	a	cm/s	gal/día/Pie <sup>2</sup>	millones gal/día/acre	m/día	pie/s	Darcy
cm/s		1.000	21 204.78		864.000	0.033	
gal/día/pie <sup>2</sup>			1.000		0.041		0.055
millón gal/día/acre				1.000	0.935		
m/día		0.001	24.543	1.069	1.000		1.351
pie/s		30.480			26 334.72	1.000	
Darcy			18.200		0.740		1.000

Peso									
de	a	grano	gramo	kilogramo	libra	onza	tonelada corta	tonelada larga	tonelada métrica
Grano (gr)		1.000	0.065						
Gramo (g)		15.432	1.000	0.001	0.002				
Kilogramo (kg)			1 000.000	1.000	2.205	35.273			0.001
Libra (lb)			453.592	0.454	1.000	16.000			
Onza (oz)		437.500	28.350			1.000			
t corta				907.180	2 000.000		1.000		0.907
t larga				1 016.000	2 240.000		1.119	1.000	1.016
t métrica				1 000.000	2 205.000		1.101	0.986	1.000

Potencia									
de	a	CV	HP	kW	W	ft lb/s	kg m/s	BTU/s	kcal/s
CV		1.000	0.986	0.736	735.500	542.500	75.000	0.697	0.176
HP		1.014	1.000	0.746	745.700	550.000	76.040	0.706	0.178
kW		1.360	1.341	1.000	1 000.000	737.600	101.980	0.948	0.239
W				0.001	1.000	0.738	0.102		
ft lb/s					1.356	1.000	0.138	0.001	
kg m/s		0.013	0.013	0.009	9.806	7.233	1.000	0.009	0.002
BTU/s		1.434	1.415	1.055	1 055.000	778.100	107.580	1.000	0.252
kcal/s		5.692	5.614	4.186	4 186.000	3 088.000	426.900	3.968	1.000

Presión								
de	a	atmósfera	Kg/cm <sup>2</sup>	lb/in <sup>2</sup>	mm de Hg	in de Hg	m de H <sub>2</sub> O	ft de H <sub>2</sub> O
atmósfera		1.000	1.033	14.696	760.000	29.921	10.330	33.899
kg/cm <sup>2</sup>		0.968	1.000	14.220	735.560	28.970	10.000	32.810
lb/in <sup>2</sup>		0.068	0.070	1.000	51.816	2.036	0.710	2.307
mm de Hg		0.001	0.001	0.019	1.000	0.039	0.013	0.044
in de Hg		0.033	0.035	0.491	25.400	1.000	0.345	1.133
m de agua		0.096	0.100	1.422	73.560	2.896	1.000	3.281
ft de agua		0.029	0.030	0.433	22.430	0.883	0.304	1.000

Energía									
de	a	CV hora	HP hora	kW hora	J	ft.lb	kgm	BTU	kcal
CV hora		1.000	0.986	0.736				2 510.000	632.500
HP hora		1.014	1.000	0.746				2 545.000	641.200
kW hora		1.360	1.341	1.000				3 413.000	860.000
J					1.000	0.738	0.102		
ft.lb					1.356	1.000	0.138		
kgm					9.806	7.233	1.000		
BTU					1 054.900	778.100	107.580	1.000	0.252
kcal					4 186.000	3 087.000	426.900	426.900	1.000

Transmisividad				
de	a	cm <sup>2</sup> /s	gal/día/pie	m <sup>2</sup> /día
cm <sup>2</sup> /s		1.000	695.694	8.640
gal/día/ft		0.001	1.000	0.012
m <sup>2</sup> /día		0.116	80.520	1.000

Conversión de pies y pulgadas, a metros												
ft, in/m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0.000	0.025	0.051	0.076	0.102	0.127	0.152	0.178	0.203	0.229	0.254	0.279
1	0.305	0.330	0.356	0.381	0.406	0.432	0.457	0.483	0.508	0.533	0.559	0.584
2	0.610	0.635	0.660	0.686	0.711	0.737	0.762	0.787	0.813	0.838	0.864	0.889
3	0.914	0.940	0.965	0.991	1.016	1.041	1.067	1.092	1.176	1.143	1.168	1.194
4	1.219	1.245	1.270	1.295	1.321	1.346	1.372	1.397	1.422	1.448	1.473	1.499
5	1.524	1.549	1.575	1.600	1.626	1.651	1.676	1.702	1.727	1.753	1.778	1.803
6	1.829	1.854	1.880	1.905	1.930	1.956	1.981	2.007	2.032	2.057	2.083	2.108
7	2.134	2.159	2.184	2.210	2.235	2.261	2.286	2.311	2.337	2.362	2.388	2.413
8	2.438	2.464	2.489	2.515	2.540	2.565	2.591	2.616	2.642	2.667	2.692	2.718
9	2.743	2.769	2.794	2.819	2.845	2.870	2.896	2.921	2.946	2.972	2.997	3.023
10	3.048	3.073	3.099	3.124	3.150	3.175	3.200	3.226	3.251	3.277	3.302	3.327
11	3.353	3.378	3.404	3.429	3.454	3.480	3.505	3.531	3.556	3.581	3.607	3.632
12	3.658	3.683	3.708	3.734	3.759	3.785	3.810	3.835	3.861	3.886	3.912	3.937
13	3.962	3.988	4.013	4.039	4.064	4.089	4.115	4.140	4.166	4.191	4.216	4.242
14	4.267	4.293	4.318	4.343	4.369	4.394	4.420	4.445	4.470	4.496	4.521	4.547
15	4.572	4.597	4.623	4.648	4.674	4.699	4.724	4.750	4.775	4.801	4.826	4.851
16	4.877	4.902	4.928	4.953	4.978	5.004	5.029	5.055	5.080	5.105	5.131	5.156
17	5.182	5.207	5.232	5.258	5.283	5.309	5.334	5.359	5.385	5.410	5.436	5.461
18	5.486	5.512	5.537	5.563	5.588	5.613	5.639	5.664	5.690	5.715	5.740	5.766
19	5.791	5.817	5.842	5.867	5.893	5.918	5.944	5.969	5.994	6.020	6.045	6.071
20	6.096	6.121	6.147	6.172	6.198	6.223	6.248	6.274	6.299	6.325	6.350	6.375
21	6.401	6.426	6.452	6.477	6.502	6.528	6.553	6.579	6.604	6.629	6.655	6.680
22	6.706	6.731	6.756	6.782	6.807	6.833	6.858	6.883	6.909	6.934	6.960	6.985
23	7.010	7.036	7.061	7.087	7.112	7.137	7.163	7.188	7.214	7.239	7.264	7.290
24	7.315	7.341	7.366	7.391	7.417	7.442	7.468	7.493	7.518	7.544	7.569	7.595
25	7.620	7.645	7.671	7.696	7.722	7.747	7.772	7.798	7.823	7.849	7.874	7.899
26	7.925	7.950	7.976	8.001	8.026	8.052	8.077	8.103	8.128	8.153	8.179	8.204
27	8.230	8.255	8.280	8.306	8.331	8.357	8.382	8.407	8.433	8.458	8.484	8.509
28	8.534	8.560	8.585	8.611	8.636	8.661	8.687	8.712	8.738	8.763	8.788	8.814
29	8.839	8.865	8.890	8.915	8.941	8.966	8.992	9.017	9.042	9.068	9.093	9.119
30	9.144	9.169	9.195	9.220	9.246	9.271	9.296	9.322	9.347	9.373	9.398	9.423
31	9.449	9.474	9.500	9.525	9.550	9.576	9.601	9.627	9.652	9.677	9.703	9.728
32	9.754	9.779	9.804	9.830	9.855	9.881	9.906	9.931	9.957	9.982	10.008	10.033
33	10.058	10.084	10.109	10.135	10.160	10.185	10.211	10.236	10.262	10.287	10.312	10.338
34	10.363	10.389	10.414	10.439	10.465	10.490	10.516	10.541	10.566	10.592	10.617	10.643
35	10.668	10.693	10.719	10.744	10.770	10.795	10.820	10.846	10.871	10.897	10.922	10.947

La segunda columna es la conversión de pies a metros; las siguientes columnas son la conversión de pulgadas a metros que se suman a la anterior conversión.

Tabla de conversión de pulgadas a milímetros								
Pulgadas	0	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
0	0	3.175	6.35	9.525	12.7	15.875	19.05	22.225
1	25.4	28.575	31.75	34.925	38.1	41.275	44.45	47.625
2	50.8	53.975	57.15	60.325	63.5	66.675	69.85	73.025
3	76.2	79.375	82.55	85.725	88.9	92.075	95.25	98.425
4	101.6	104.775	107.95	111.125	114.3	117.475	120.65	123.825
5	127.0	130.175	133.35	136.525	139.7	142.875	146.05	149.225
6	152.4	155.575	158.75	161.925	165.1	168.275	171.45	174.625
7	177.8	180.975	184.15	187.325	190.5	193.675	196.85	200.025
8	203.2	206.375	209.55	212.725	215.9	219.075	222.25	225.425
9	228.6	231.775	234.95	238.125	241.3	244.475	247.65	250.825
10	254.0	257.175	260.35	263.525	266.7	269.875	273.05	276.225
11	279.4	282.575	285.75	288.925	292.1	295.275	298.45	301.625
12	304.8	307.975	311.15	314.325	317.5	320.675	323.85	327.025
13	330.2	333.375	336.55	339.725	342.9	346.075	349.25	352.425
14	355.6	358.775	361.95	365.125	368.3	371.475	374.65	377.825
15	381.0	384.175	387.35	390.525	393.7	396.875	400.05	403.225
16	406.4	409.575	412.75	415.925	419.1	422.275	425.45	428.625
17	431.8	434.975	438.15	441.325	444.5	447.675	450.85	454.025
18	457.2	460.375	463.55	466.725	469.9	473.075	476.25	479.425
19	482.6	485.775	488.95	492.125	495.3	498.475	501.65	504.825
20	508.0	511.175	514.35	517.525	520.7	523.875	527.05	530.225
21	533.4	536.575	539.75	542.925	546.1	549.275	552.45	555.625
22	558.8	561.975	565.15	568.325	571.5	574.675	577.85	581.025
23	584.2	587.375	590.55	593.725	596.9	600.075	603.25	606.425
24	609.6	612.775	615.95	619.125	622.3	625.475	628.65	631.825
25	635.0	638.175	641.35	644.525	647.7	650.875	654.05	657.225
26	660.4	663.575	666.75	669.925	673.1	676.275	679.45	682.625
27	685.8	688.975	692.15	695.325	698.5	701.675	704.85	708.025
28	711.2	714.375	717.55	720.725	723.9	727.075	730.25	733.425
29	736.6	739.775	742.95	746.125	749.3	752.475	755.65	758.825
30	762.0	765.175	768.35	771.525	774.7	777.875	781.05	784.225

Fórmulas generales para la conversión de los diferentes sistemas

Centígrados a Fahrenheit	$^{\circ}\text{F}=9/5^{\circ}\text{C}+32$
Fahrenheit a Centígrados	$^{\circ}\text{C}=5/9 (^{\circ}\text{F}-32)$
Réaumur a Centígrados	$^{\circ}\text{C}=5/4 ^{\circ}\text{R}$
Fahrenheit a Réaumur	$^{\circ}\text{R}=4/9 (^{\circ}\text{F}-32)$
Réaumur a Fahrenheit	$^{\circ}\text{F}=(9/4^{\circ}\text{R})+32$
Celsius a Kelvin	$^{\circ}\text{K}=273.15+^{\circ}\text{C}$
Fahrenheit a Rankine	$^{\circ}\text{Ra}=459.67+^{\circ}\text{F}$
Rankine a Kelvin	$^{\circ}\text{K}=5/9^{\circ}\text{Ra}$

Factores químicos de conversión					
	A	B	C	D	E
Constituyentes	eppm a ppm	ppm a epm	eppm a gpg	gpg a epm	ppm a ppm CaCO <sub>3</sub>
calcio Ca <sup>+2</sup>	20.04	0.04991	1.1719	0.8533	2.4970
hierro Fe <sup>+2</sup>	27.92	0.03582	1.6327	0.6125	1.7923
magnesio Mg <sup>+2</sup>	12.16	0.08224	0.7111	1.4063	4.1151
potasio K <sup>+1</sup>	39.10	0.02558	2.2865	0.4373	1.2798
sodio Na <sup>+1</sup>	23.00	0.04348	1.3450	0.7435	2.1756
bicarbonato (HCO <sub>3</sub> ) <sup>-1</sup>	61.01	0.01639	3.5678	0.2803	0.8202
carbonato (CO <sub>3</sub> ) <sup>-2</sup>	30.00	0.03333	1.7544	0.5700	1.6680
cloro (Cl) <sup>-1</sup>	35.46	0.02820	2.0737	0.4822	1.4112
hidróxido (OH) <sup>-1</sup>	17.07	0.05879	0.9947	1.0053	2.9263
nitrito (NO <sub>2</sub> ) <sup>-1</sup>	62.01	0.01613	3.6263	0.2758	0.8070
fosfato (PO <sub>4</sub> ) <sup>-3</sup>	31.67	0.03158	1.8520	0.5400	1.5800
sulfato (SO <sub>4</sub> ) <sup>-2</sup>	48.04	0.02082	2.8094	0.3559	1.0416
bicarbonato de calcio Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	805.00	0.01234	4.7398	0.2120	0.6174
carbonato de calcio (CaCO <sub>3</sub> )	50.04	0.01998	2.9263	0.3417	1.0000
cloruro de calcio (CaCl <sub>2</sub> )	55.50	0.01802	3.2456	0.3081	0.9016
hidróxido de calcio Ca(OH) <sub>2</sub>	37.05	0.02699	2.1667	0.4615	1.3506
sulfato de calcio (CaSO <sub>4</sub> )	68.07	0.01469	3.9807	0.2512	0.7351
bicarbonato férrico Fe(HCO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	88.93	0.01124	5.2006	0.1923	0.5627
carbonato férrico Fe <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	57.92	0.01727	3.3871	0.2951	0.8640
sulfato férrico Fe <sub>2</sub> (CO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	75.96	0.01316	4.4421	0.2251	0.6588
bicarbonato magnésico Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	73.17	0.01367	4.2789	0.2337	0.6839
carbonato magnésico (MgCO <sub>3</sub> )	42.16	1.02372	2.4655	0.4056	1.1869
cloruro de magnesio (MgCl <sub>2</sub> )	47.62	0.02100	2.7848	0.3591	1.0508
hidróxido de magnesio Mg(OH) <sub>2</sub>	29.17	0.03428	1.7058	0.5862	1.7155
sulfato de magnesio (MgSO <sub>4</sub> )	60.20	0.01661	3.5202	0.2841	0.6312

eppm = equivalentes por millón

ppm = partes por millón

gpg = granos por galón

p.p.m. CaCO<sub>3</sub> = partes por millón de carbonato de calcio



# ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1 Porcentaje de cobertura de agua potable en México hasta 2013 (CONAGUA, 2014)	1
Ilustración 1.2 Calidad del agua en sitios de monitoreo de agua superficial según indicador DBO <sub>5</sub> (CONAGUA, 2014)	9
Ilustración 1.3 Calidad del agua en sitios de monitoreo de agua superficial según indicador DQO (CONAGUA, 2014)	10
Ilustración 1.4 Sitios de monitoreo con clasificación "fuertemente contaminado" para DBO <sub>5</sub> , DQO y/o SST (CONAGUA, 2014)	11
Ilustración 1.5 Disponibilidad de acuíferos (CONAGUA, 2014)	12
Ilustración 2.1 Esquema ejemplo de tren de proceso de potabilización	16
Ilustración 2.2 Esquema filtración rápida	34
Ilustración 2.3 Esquema proceso de adsorción con carbón activado	37
Ilustración 2.4 Ósmosis inversa (Iglesias, 1999)	38
Ilustración 2.5 . Espesador de lodo por gravedad circular (IMTA, 2007).	41
Ilustración 2.6 Plano de un lecho de secado típico	43
Ilustración 3.1 Clarificación convencional (Rojas, 2000)-Adaptación para este manual	54
Ilustración 3.2 .Remoción de hierro y manganeso (American Water Works Association, 2002)- Adaptación para este manual	54
Ilustración 3.3 Remoción de hierro y manganeso por adsorción-oxidación sobre zeolita natural (Piña, 2011)-Adaptación para este manual	54
Ilustración 3.4 Filtración directa (American Water Works Association, 2002)- Adaptación para este manual	55
Ilustración 3.5 Ablandamiento químico (American Water Works Association, 2002)- Adaptación para este manual	55
Ilustración 3.6 Ablandamiento con intercambio iónico (Rojas, 2000)-Adaptación para este manual	55
Ilustración 3.7 Adsorción con carbón activado (Rojas, 2000)-Adaptación para este manual	56
Ilustración 3.8 Ósmosis inversa (American Water Works Association, 2002)-Adaptación para este manual	56
Ilustración 3.9 Filtración lenta (Rojas, 2000)-Adaptación para este manual	56
Ilustración 3.10 Ejemplos de plantas potabilizadoras de clarificación convencional, filtración directa y filtración lenta respectivamente (Acervo IMTA)	57
Ilustración 3.11 Ejemplos de plantas potabilizadoras de ablandamiento, adsorción con carbón activado y remoción de hierro-manganeso (Acervo IMTA)	58
Ilustración 3.12 Ejemplos de planta potabilizadora de ósmosis inversa	59
Ilustración 3.13 Ejemplo de planta potabilizadora de patente	59
Ilustración 3.14 Diagrama del proceso de evaluación	117

Ilustración 4.1 Capacidad de diseño y operación de las plantas potabilizadoras visitadas	127
Ilustración 4.2 Tipos de desinfección plantas potabilizadoras visitadas	127
Ilustración 4.3 Año de inicio de operaciones plantas potabilizadoras visitadas	128
Ilustración 4.4 Características de suministro plantas potabilizadoras visitadas	128
Ilustración 4.5 Modo de conducción del influente plantas potabilizadoras visitadas	129
Ilustración 4.6 Evaluación general	133
Ilustración 4.7 Evaluación unidades de proceso	133
Ilustración 4.8 Evaluación mantenimiento (infraestructura, funcionamiento de unidades de proceso, equipos electromecánicos)	134
Ilustración 4.9 Evaluación criterios de diseño	134
Ilustración 4.10 Evaluación laboratorio	135
Ilustración 4.11 Evaluación cumplimiento modificación a la NOM-127-SSA1-1994	135
Ilustración 4.12 Evaluación productos químicos	136
Ilustración 4.13 Evaluación procedimientos especiales (situaciones de emergencia)	136
Ilustración 4.14 Evaluación personal operativo y supervisión (registros y reportes)	137
Ilustración 4.15 Evaluación administración	137
Ilustración 4.16 Evaluación grado de capacitación del personal de la planta	138
Ilustración 4.17 Rehabilitación plantas potabilizadoras visitadas	138
Ilustración 4.18 Ajustes al diseño original de plantas potabilizadoras visitadas	139
Ilustración 4.19 Análisis resultados evaluación; mantenimiento preventivo o correctivo	139
Ilustración 4.20 Análisis resultados evaluación; problemáticas en planta	140

# TABLAS

Tabla 1.1 Evaluación de la cobertura nacional de agua potable de 1990 a 2012 (CONAGUA, 2013)	2
Tabla 1.2 Plantas potabilizadoras por entidad federativa, 2012 (CONAGUA, 2012)	3
Tabla 1.3 Plantas potabilizadoras por entidad federativa según proceso de potabilización y caudal potabilizado (CONAGUA, 2012)	4
Tabla 1.4 . Plantas potabilizadoras por entidad federativa según proceso de potabilización y caudal potabilizado (CONAGUA, 2012)	5
Tabla 1.3 Plantas potabilizadoras por entidad federativa según proceso de potabilización y caudal potabilizado (CONAGUA, 2012) (continuación)	5
Tabla 1.5 Principales características de aguas superficiales y aguas subterráneas (IMTA, 2007)	7
Tabla 1.6 Concentraciones típicas de constituyentes de calidad de agua en diferentes fuentes de agua (IMTA, 2007)	8
Tabla 1.7 Distribución porcentual de sitios de monitoreo en cuerpos de agua superficiales por región hidrológica administrativa de acuerdo al indicador DBO <sub>5</sub> , (CONAGUA, 2012)	9
Tabla 1.8 Distribución porcentual de sitios de monitoreo en cuerpos de agua superficiales por región hidrológica administrativa de acuerdo al indicador DQO (CONAGUA, 2012)	10
Tabla 1.9 Distribución porcentual de sitios de monitoreo en cuerpos de agua superficiales por región hidrológica administrativa de acuerdo al indicador SST (CONAGUA, 2012)	11
Tabla 1.10 Estándares para fuentes de aguas crudas, suministro doméstico (AWWA, 2012)	12
Tabla 2.1 Tipos de medidores de caudal (IMTA, 2007)	17
Tabla 2.2 Tipos de coagulantes y reacción química (IMTA, 2007)	25
Tabla 2.3 Tipos de Mezcladores (IMTA, 2007)	27
Tabla 2.4 Tipos de Floculadores (IMTA, 2007)	30
Tabla 2.5 Tipos de Sedimentadores (IMTA, 2007)	32
Tabla 2.6 Tipos de proceso de ablandamiento (Rojas J. R., 1999)	36
Tabla 2.7 Tipos de desinfectantes de agua (EPA, 1999)	39
Tabla 2.8 Desaguado de lodos mediante métodos mecánicos (IMTA, 2007)	44
Tabla 2.9 Tipos de disposición final de lodos	46
Tabla 2.10 Factores que influyen en los procesos (Rojas, 1999)	46
Tabla 2.11 Parámetros de diseño para una planta de potabilización convencional (Rojas, 2000)	48
Tabla 2.12 Parámetros de diseño adicionales para trenes de potabilización especializados (Rojas, 1999)	51
Tabla 3.1 Procesos de potabilización de agua (Rojas, 2000)	53
Tabla 3.2 Problemáticas y soluciones de medidores de caudal (IMTA, 2004)	60
Tabla 3.3 Recopilación de problemas y soluciones en la coagulación y dosificación de reactivos (IMTA, 2004)	62

Tabla 3.4 Recopilación de problemas y soluciones en los floculadores (IMTA, 2004)	63
Tabla 3.5 Recopilación de problemas y soluciones en los sedimentadores (IMTA, 2004)	64
Tabla 3.6 Recopilación de posibles problemáticas y soluciones en la filtración (IMTA, 2004)	65
Tabla 3.7 Problemas y soluciones de los procesos de ablandamiento (Rojas, 1999)	66
Tabla 3.8 Problemas y soluciones de los procesos de remoción de hierro y manganeso (Rojas, 1999)	67
Tabla 3.9 Problemas y soluciones en la unidad de proceso ósmosis inversa (American Water Works Association, 2007)	67
Tabla 3.10 Recopilación de problemas y soluciones del proceso de oxidación (IMTA, 2004)	68
Tabla 3.11 Recopilación e identificación de problemas y posibles soluciones en los cloradores (IMTA, 2004)	68
Tabla 3.12 Evaluación recorrido en planta, infraestructura de llegada; clarificación convencional	74
Tabla 3.13 Evaluación recorrido en planta, caudal; clarificación convencional	74
Tabla 3.14 Evaluación recorrido en planta, caudal, criterios de diseño; clarificación convencional	74
Tabla 3.15 Evaluación recorrido en planta, pretratamiento; clarificación convencional	74
Tabla 3.16 Evaluación recorrido en planta, pretratamiento, criterios de diseño; clarificación convencional	75
Tabla 3.17 Evaluación recorrido en planta, coagulación; clarificación convencional	75
Tabla 3.18 Evaluación recorrido en planta, coagulación, criterios de diseño; clarificación convencional	76
Tabla 3.19 Evaluación recorrido en planta, floculación; clarificación convencional	76
Tabla 3.20 Evaluación recorrido en planta, floculación, criterios de diseño; clarificación convencional	76
Tabla 3.21 Evaluación recorrido en planta, sedimentación; clarificación convencional	77
Tabla 3.22 Evaluación recorrido en planta, sedimentación, criterios de diseño; clarificación convencional	77
Tabla 3.23 Evaluación recorrido en planta, filtración; clarificación convencional	78
Tabla 3.24 Evaluación recorrido en planta, filtración, criterios de diseño; clarificación convencional	78
Tabla 3.25 Evaluación recorrido en planta, cloración; clarificación convencional	79
Tabla 3.26 Evaluación recorrido en planta, cloración, criterios de diseño; clarificación convencional	79
Tabla 3.27 Evaluación recorrido en planta, espesamiento de lodos; clarificación convencional	79
Tabla 3.28 Evaluación recorrido en planta, deshidratación de lodos; clarificación convencional	80
Tabla 3.29 Evaluación recorrido en planta, disposición de lodos; clarificación convencional	80
Tabla 3.30 Evaluación recorrido en planta, infraestructura de salida; clarificación convencional	80
Tabla 3.31 Evaluación recorrido en planta, infraestructura de llegada; remoción hierro y manganeso	80
Tabla 3.32 Evaluación recorrido en planta, caudal; remoción hierro y manganeso	81
Tabla 3.33 Evaluación recorrido en planta, caudal, criterios de diseño; remoción de hierro y manganeso	81
Tabla 3.34 Evaluación recorrido en planta, pretratamiento; remoción de hierro y manganeso	81
Tabla 3.35 Evaluación recorrido en planta, pretratamiento, criterios de diseño, remoción de hierro y manganeso	81
Tabla 3.36 Evaluación recorrido en planta, oxidación; remoción de hierro y manganeso	82

Tabla 3.37 Evaluación recorrido en planta, oxidación, criterios de diseño; remoción de hierro y manganeso	82
Tabla 3.38 Evaluación recorrido en planta, filtración; remoción de hierro y manganeso	83
Tabla 3.39 Evaluación recorrido en planta, filtración con zeolita; remoción de hierro y manganeso	83
Tabla 3.40 Evaluación recorrido en planta, criterios de diseño, filtración con zeolita; remoción de hierro y manganeso	84
Tabla 3.41 Evaluación recorrido en planta, cloración; remoción de hierro y manganeso	84
Tabla 3.42 Evaluación recorrido en planta, cloración, criterios de diseño; remoción de hierro y manganeso	84
Tabla 3.43 Evaluación recorrido en planta, espesamiento de lodos; remoción de hierro y manganeso	85
Tabla 3.44 Evaluación recorrido en planta, deshidratación de lodos; remoción de hierro y manganeso	85
Tabla 3.45 Evaluación recorrido en planta, disposición de lodos; remoción de hierro y manganeso	85
Tabla 3.46 Evaluación recorrido en planta, infraestructura de salida; remoción de hierro y manganeso	85
Tabla 3.47 Evaluación recorrido en planta, infraestructura de llegada; filtración directa	86
Tabla 3.48 Evaluación recorrido en planta, caudal; filtración directa	86
Tabla 3.49 Evaluación recorrido en planta, caudal, criterios de diseño; filtración directa	86
Tabla 3.50 Evaluación recorrido en planta, pretratamiento; filtración directa	86
Tabla 3.51 Evaluación recorrido en planta, pretratamiento, criterios de diseño; filtración directa	87
Tabla 3.52 Evaluación recorrido en planta, torre de desorción, filtración directa	87
Tabla 3.53 Evaluación recorrido en planta, criterios de diseño, torre de desorción; filtración directa	87
Tabla 3.54 Evaluación recorrido en planta, filtración; filtración directa	88
Tabla 3.55 Evaluación recorrido en planta, filtración con zeolita; filtración directa	88
Tabla 3.56 Evaluación recorrido en planta, criterios de diseño, filtración con zeolita; filtración directa	89
Tabla 3.57 Evaluación recorrido en planta, cloración; filtración directa	89
Tabla 3.58 Evaluación recorrido en planta, cloración, criterios de diseño; filtración directa	90
Tabla 3.59 Evaluación recorrido en planta, infraestructura de llegada; ablandamiento	90
Tabla 3.60 Evaluación recorrido en planta, caudal; ablandamiento	90
Tabla 3.61 Evaluación recorrido en planta, caudal, criterios de diseño; ablandamiento	91
Tabla 3.62 Evaluación recorrido en planta, pretratamiento; ablandamiento	91
Tabla 3.63 Evaluación recorrido en planta, pretratamiento, criterios de diseño; ablandamiento	91
Tabla 3.64 Evaluación recorrido en planta, coagulación; ablandamiento	92
Tabla 3.65 Evaluación recorrido en planta, coagulación, criterios de diseño; ablandamiento	92
Tabla 3.66 Evaluación recorrido en planta, floculación; ablandamiento	93
Tabla 3.67 Evaluación recorrido en planta, floculación, criterios de diseño; ablandamiento	93
Tabla 3.68 Evaluación recorrido en planta, sedimentación; ablandamiento	93
Tabla 3.69 Evaluación recorrido en planta, sedimentación, criterios de diseño; ablandamiento	94
Tabla 3.70 Evaluación recorrido en planta, recarbonatación; ablandamiento	94
Tabla 3.71 Evaluación recorrido en planta, filtración; ablandamiento	95
Tabla 3.72 Evaluación recorrido en planta, filtración, criterios de diseño; ablandamiento	95
Tabla 3.73 Evaluación recorrido en planta, intercambio iónico; ablandamiento	96
Tabla 3.74 Evaluación recorrido en planta, intercambio iónico, criterios de diseño, ablandamiento	96



Tabla 3.115 Orden recomendada de priorización	117
Tabla 3.116 Tipos de plantas potabilizadoras	118
Tabla 3.117 Información general de las plantas potabilizadoras	118
Tabla 3.118 Resultados ponderados plantas potabilizadoras evaluadas	118
Tabla 3.119 Resultados evaluación plantas potabilizadoras visitadas	118
Tabla 3.120 Diagnósticos generales plantas potabilizadoras	120
Tabla 3.121 Recomendaciones ante problemáticas	121
Tabla 4.1 Tipos de plantas potabilizadoras visitadas	124
Tabla 4.2 Información general de las plantas visitadas	125
Tabla 4.3 Resultados ponderados plantas potabilizadoras evaluadas	131
Tabla 4.4 Resultados evaluación plantas potabilizadoras visitadas	132
Tabla 4.5 Diagnósticos generales plantas potabilizadoras visitadas	140
Tabla 4.6 Porcentajes logrados en cada rubro de las plantas potabilizadoras visitada	141
Tabla 4.7 Rubros menores al 50% del valor asignado e iguales al 100%	142

