

MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES: FILTROS ROCIADORES

52



MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES: FILTROS ROCIADORES

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento

Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales:
Filtros Rociadores

ISBN: 978-607-8246-93-9

D.R. © Secretaría 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
1. Introducción	1
1.1. Importancia de la medición del gasto	6
1.2. Parámetros de calidad del agua	9
1.3. Muestreo	11
1.3.1. Aparatos y equipos	14
1.3.2. Identificación de las muestras	14
1.3.3. Hoja de registro	14
1.3.4. Procedimiento	15
1.3.5. Tipos de muestras	15
1.4. Legislación	15
2. Filtros rociadores	17
2.1. Antecedentes	17
2.2. Clasificación de los filtros rociadores	17
2.2.1. Descripción de los diversos tipos de filtros	18
2.3. Descripción de los filtros rociadores	20
2.4. Parámetros de diseño para filtros rociadores	28
3. Parámetros para evaluación del proceso	29
3.1. Parámetros de control	29
3.2. Factores ambientales que afectan el funcionamiento	32
3.3. Factores que influyen en la eficiencia	37
4. Operación del filtro	43
4.1. Operación del distribuidor	43
4.2. Arranque del filtro	44
4.3. Actividades de operación	47
4.3.1. Problemas de operación	47
4.3.2. Caso de evaluación de filtros rociadores	51
5. Mantenimiento	53
5.1. Mantenimiento	53
5.1.1. Clases de mantenimiento	54
5.1.2. Componentes de un programa de mantenimiento	54
5.2. Estrategias de control	54
5.2.1. Programa de mantenimiento preventivo	55

6. Problemas comunes y acciones correctivas	61
7. Sedimentación secundaria	67
7.1. Proceso de sedimentación	67
7.2. Tipos de sedimentadores	69
7.3. Problemas comunes y acciones correctivas	75
8. Seguridad, higiene y salud ocupacional en plantas de filtros rociadores	81
8.1. Introducción	81
8.2. Leyes y reglamentos de la seguridad y salud laboral	82
8.3. Programas de higiene y seguridad en plantas de tratamiento	84
8.4. Medidas de protección sugeridas ante riesgos y salud laboral	91
8.5. Investigación de accidentes y sistema de registros	112
Conclusiones	115
Bibliografía	117
Abreviaturas	119
Formato de operación	121
Tabla de conversiones de unidades de medida	123
Ilustraciones	133
Tablas	135

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.



1

INTRODUCCIÓN

Las poblaciones generan aguas residuales, producto de la utilización del agua en diferentes actividades. Estas aguas residuales requieren tratamiento dependiendo, por un lado, del tipo y cantidad de constituyentes que se deben remover o modificar y, por otro lado, de las características requeridas en el efluente del sistema de tratamiento, de acuerdo a su destino.

Para proteger tanto la salud pública como la ambiental es necesario conocer los constituyentes del agua residual así como el impacto que dichos constituyentes tienen en el medio ambiente cuando las aguas residuales son descargadas, la transformación que sufren en los procesos de tratamiento y su destino a largo plazo. Asimismo, se requiere tener conocimiento de los métodos de tratamiento que pueden ser usados para remover o modificar los constituyentes encontrados en las aguas residuales y también de los métodos para el uso y disposición de los biosólidos generados por los sistemas de tratamiento.

El propósito del tratamiento del agua residual que posteriormente es descargada en un medio acuático es remover contaminantes que puedan dañar la vida acuática debido a la eutrofización y la consecuente disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto (OD).

En el tratamiento de las aguas residuales se utilizan procesos físicos, químicos y bioquímicos. Las operaciones físicas son aquellas que obedecen leyes físicas, tal como la sedimentación. Las operaciones químicas son aquellas en las cuales ocurren estrictamente reacciones químicas, como la precipitación. Las operaciones bioquímicas son aquellas que utilizan microorganismos vivos para transformar los contaminantes a través de reacciones químicas catalizadas enzimáticamente.

Los contaminantes pueden ser clasificados según sus características físicas en solubles e insolubles; por sus características químicas en orgánicos e inorgánicos; de acuerdo a su susceptibilidad a la alteración por microorganismos en biodegradables o no biodegradables; por su origen en biogénicos o antropogénicos y por sus efectos pueden ser tóxicos o no tóxicos.

En su mayor parte, las tasas de transformación de la materia inorgánica insoluble por microorganismos son demasiado bajas para ser de importancia práctica. Por lo tanto, para la materia inorgánica insoluble se puede aplicar la operación física de la sedimentación. Es por esto que a menudo se utiliza la sedimentación en forma preliminar y posteriormen-

te las aguas pasan por otros procesos para su disposición final.

La sedimentación primaria es una de las primeras operaciones en un sistema de tratamiento. El efluente de un tanque de sedimentación contiene todos los componentes solubles del afluente, además de aquellos insolubles que eran demasiado pequeños para ser removidos por esta operación. La mayor parte del material insoluble sale por la parte inferior del sedimentador (purga) como una suspensión espesa llamada lodo primario. Tanto el efluente del sedimentador como el lodo purgado requieren tratamiento adicional. Es en este momento cuando las operaciones bioquímicas se llevan a cabo.

La mayoría de las operaciones utilizadas para la transformación de los contaminantes solubles son bioquímicas. Esto se debe a que las operaciones bioquímicas funcionan más eficientemente que las operaciones químicas y físicas cuando las concentraciones de los constituyentes que reaccionan son bajas. En operaciones bioquímicas los contaminantes solubles pueden ser convertidos a formas inocuas semejantes, como dióxido de carbono o gas nitrógeno; o bien, se convierten en una nueva biomasa microbiana, la cual sí puede ser removida mediante una operación física, ya que es un material particulado.

A medida que crecen los microorganismos, estos atrapan la materia orgánica insoluble que no fue removida en el proceso anterior, permitiendo de este modo que sea retirado de las aguas residuales por una operación física (sedimentador secundario). En consecuencia, el efluente de esta operación física es relativamente limpio y a menudo puede ser descargado sin tratamiento adicional. Una porción de la materia insoluble

removida por las operaciones físicas (sedimentador secundario) puede ser retornada a la operación bioquímica, mientras que el resto es enviado al tren de lodos para su tratamiento.

Los lodos primario y secundario generados en el tratamiento de las aguas residuales normalmente son tratados juntos y otras veces en forma separada.

La Ilustración 1.1 muestra el diagrama de flujo de un proceso típico para un sistema de tratamiento de aguas residuales. Se distingue el papel de las operaciones bioquímicas para cuatro categorías de contaminantes: materia orgánica soluble (MOS); materia orgánica insoluble (MOI); materia inorgánica soluble (MIS); materia inorgánica insoluble (MII).

Un sistema de tratamiento está compuesto por una combinación de operaciones y procesos unitarios diseñados para reducir ciertos constituyentes del agua residual a un nivel aceptable. En la Tabla 1.1 se listan las operaciones y procesos unitarios usados comúnmente. Están ordenados de acuerdo con su agrupamiento convencional.

El criterio principal para la selección de un diseño sobre otro es la protección de la salud pública y la prevención de la degradación del medio ambiente. Los criterios secundarios son el costo y la facilidad de operación y mantenimiento del sistema. El tratamiento y estabilización de cualquier residuo resultante del sistema de tratamiento deben ser considerados en el proceso de selección.

Los procesos biológicos aplicados al tratamiento de las aguas residuales se pueden clasificar en cinco grupos principales:

Ilustración 1.1 Diagrama de flujo de un proceso típico para un sistema de tratamiento de aguas residuales. Se muestra el papel de las operaciones bioquímicas

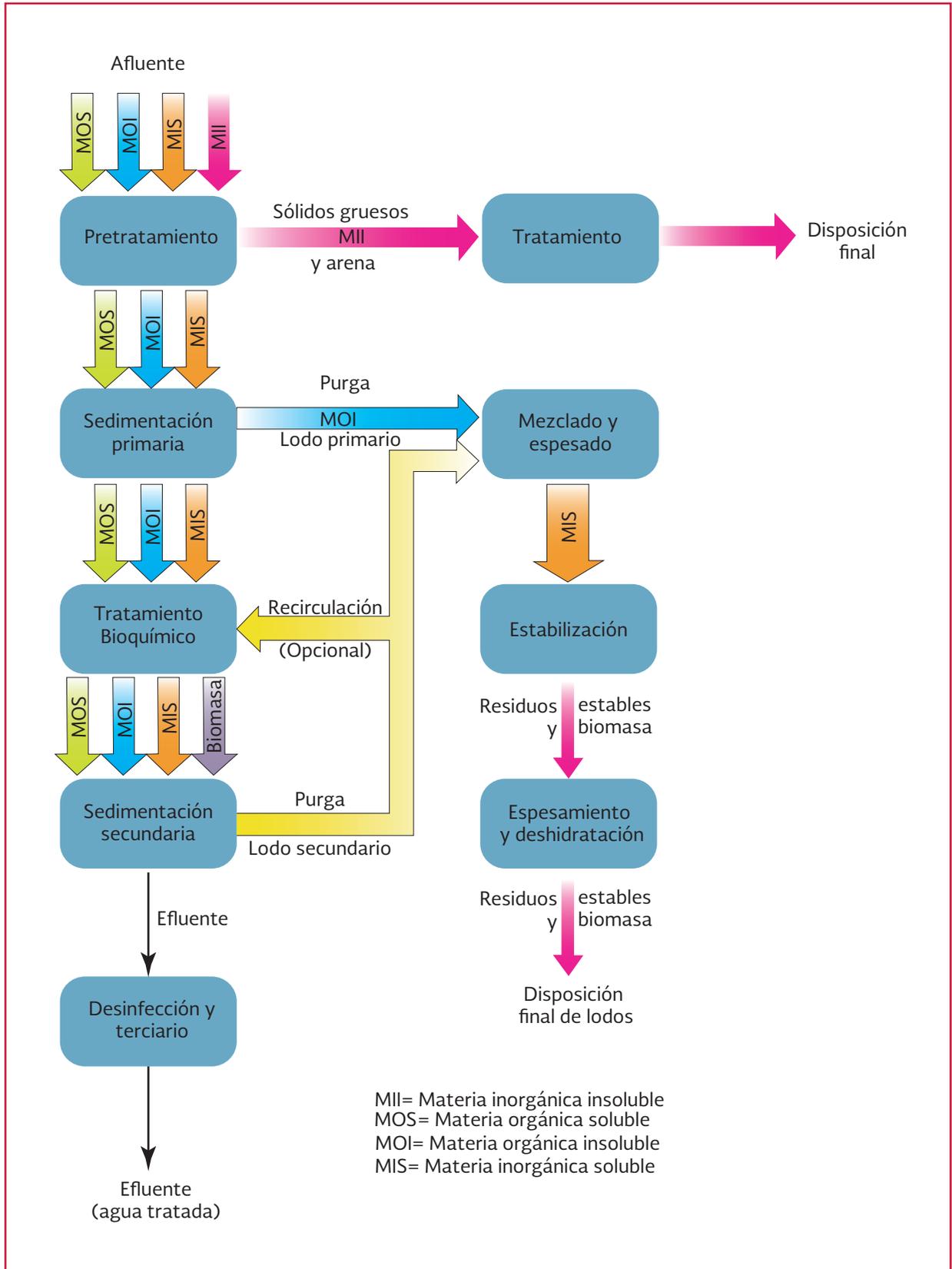


Tabla 1.1 Operaciones y procesos unitarios utilizados para eliminar la mayoría de contaminantes presentes en el agua residual (Metcalf y Eddy, 2003)

Contaminante	Operación unitaria, proceso unitario
Sólidos en suspensión	Sedimentación Desbaste y aireación Variaciones de filtración Flotación Adición de polímeros o reactivos químicos Coagulación sedimentación Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Materia orgánica biodegradable	Biomasa suspendida: Todas las variaciones de lodos activados, Reactores anaerobios de mezcla completa, estabilización aerobia de lodos residuales. Biomasa fija: filtros rociadores, biodiscos, filtros anaerobios Lagunas de estabilización y sus variantes Filtración intermitente de arena Sistemas de tratamiento por aplicación al suelo Procesos fisicoquímicos
Patógenos	Cloración Ozonación Ultravioleta
Nutrientes	Nitrógeno Variaciones de sistemas de cultivo suspendido con nitrificación y desnitrificación Variaciones de sistemas de película fija con nitrificación y desnitrificación Arrastre de amoníaco (stripping) Intercambio de iones Cloración en el punto crítico Sistemas de tratamiento por aplicación al suelo
	Fósforo Adición de sales metálicas Coagulación y sedimentación con cal Eliminación biológica y química del fósforo Sistemas de tratamiento por aplicación al suelo
Materia orgánica refractaria	Adsorción en carbón Ozonación terciaria Sistemas de tratamiento por aplicación al suelo
Metales pasados	Precipitación química Intercambio de iones Sistemas de tratamiento por aplicación al suelo
Sólidos inorgánicos disueltos	Intercambio de iones Ósmosis inversa Electrodialisis

- Procesos anaerobios
- Procesos aerobios
- Procesos anóxicos
- Combinados
- Anóxicos combinados

Cada grupo se puede clasificar, a su vez, dependiendo de si el tratamiento se lleva a cabo en sistemas de cultivo en suspensión, en sistemas de cultivo fijo, o en sistemas resultantes de la combinación de ambos (Tabla 1.2).

Tabla 1.2 Procesos biológicos frecuentemente utilizados en el tratamiento de aguas residuales. Adaptado de Crites y Tchobanoglous (2000)

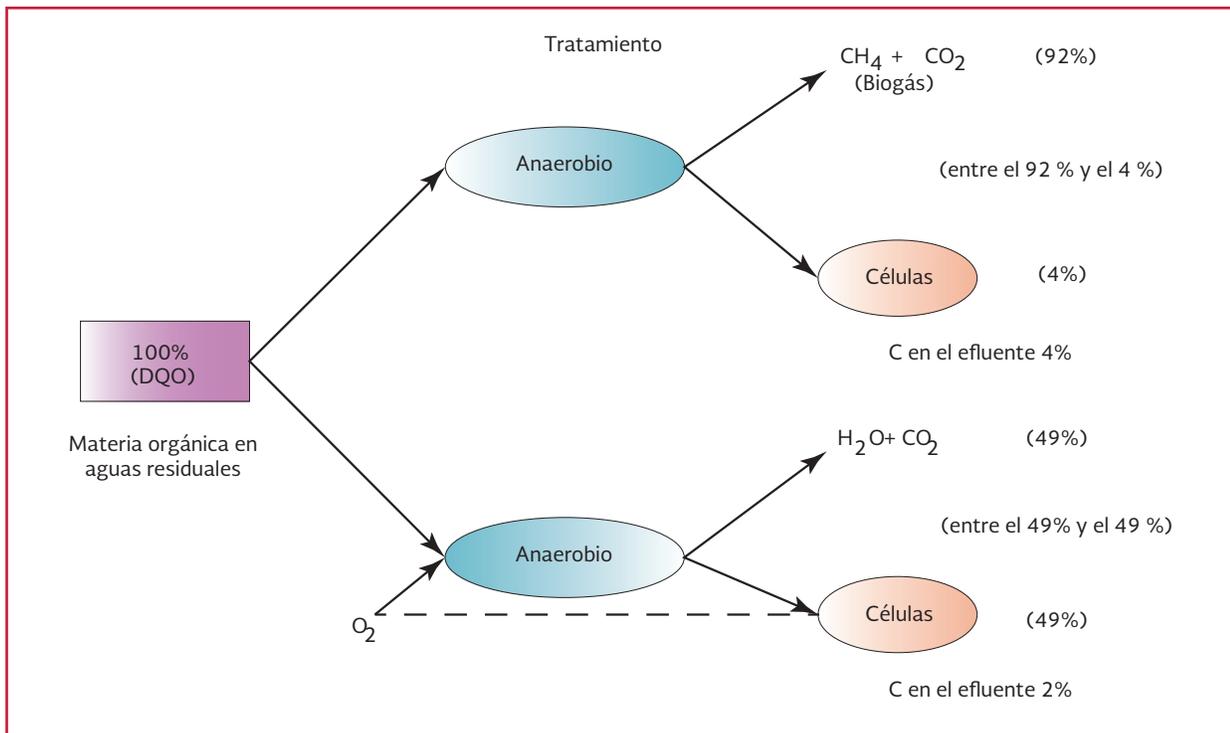
Tipo	Nombre común
Procesos anaerobios	
Biomasa en suspensión	Procesos de contacto anaerobio Digestión anaerobia
Biomasa adherida	Lecho anaerobio fijo
Híbrido	Proceso anaerobio de manto de lodos De flujo ascendente Reactor de manto de lodos/reactor del lecho fijo
Procesos aerobios	
Biomasa en suspensión	Procesos de lodos activados Lagunas aireadas Digestión aerobia
Biomasa adherida	Filtros rociadores Sistemas biológicos de contacto rotatorios Reactor de lecho empacado
Híbrido (combinación)	Filtros rociadores/lodo activado Humedales artificiales
Tratamiento con lagunas	
	Lagunas anaerobias Lagunas facultativas Lagunas de maduración

De forma sencilla, se pueden definir los procesos aerobios como aquellos que se llevan a cabo en presencia de oxígeno y los procesos anaerobios como aquellos que se dan en ausencia de oxígeno. En la Ilustración 1.2, se esquematizan las principales características de los procesos aerobios y anaerobios, desde el punto de vista energético. La energía contenida en la materia orgánica contaminante es utilizada por los microorganismos como demanda química de oxígeno (DQO) o como demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la cual es transformada en diversos productos, dependiendo del metabolismo aerobio o anaerobio de la célula. En forma general, una bacteria anaerobia utilizará 10 por ciento de la energía contenida en su alimento o sustrato para funciones de reproducción, lo que da origen a nuevas células, y 90 por ciento restante lo dirigirá a la producción de CO₂ y gas metano. Por su parte, una bacteria aerobia empleará, en presencia del oxígeno,

de 60 a 65 por ciento de la energía del sustrato en la síntesis de nuevas células, mientras que la fracción restante es disipada en forma de calor.

En la Tabla 1.3 se aprecian los factores (eficiencias de remoción de contaminantes) que puede ser un indicador de utilidad, en la selección de los procesos de tratamiento de las aguas residuales y cuya selección depende además del tipo de aguas residuales a tratar y de la calidad de efluente que se desea obtener. Otros factores a contemplar en esta selección de alternativas son: el terreno disponible y, los costos de operación y mantenimiento del proceso seleccionado. Los costos de operación en los procesos aerobios resultan ser mayores a los de procesos anaerobios, principalmente por el costo de energía al tener que suministrar aire para mantener la concentración de oxígeno requerida en el proceso aerobio.

Ilustración 1.2 Flujo de energía en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales (Moeller, Gabriela. 2011)



En la Tabla 1.4 se presenta la remoción esperada de los microorganismos en diferentes operaciones y procesos de tratamiento de aguas residuales.

1.1. IMPORTANCIA DE LA MEDICIÓN DEL GASTO

La medición del gasto durante la operación de una planta de tratamiento de agua residual (PTAR) permite tener registros para comparar con el gasto de diseño de la misma, realizar los cálculos de las cargas orgánicas aplicadas a un proceso, generar una muestra completa, entre otros. Resulta útil y necesario determinar el gasto entre unidades de cada proceso, así como en el efluente final, para la realización de un balance hidráulico y detección de fugas.

La composición de las aguas residuales de una comunidad depende del tipo de sistema de re-

colección que se emplee y puede incluir los siguientes componentes (Metcalf y Eddy, 2003):

1. Agua residual doméstica (o sanitaria). Procedente de zonas residenciales o instalaciones comerciales, públicas y similares
2. Agua residual industrial. Agua residual en la cual predominan vertidos industriales
3. Infiltración y aportaciones incontroladas. Agua que entra tanto de manera directa como indirecta en la red de alcantarillado. La infiltración hace referencia al agua que penetra en el sistema a través de juntas defectuosas, fracturas y grietas, o paredes porosas. Las aportaciones incontroladas corresponden a aguas pluviales que se descargan a la red por medio de alcantarillas pluviales, drenes,

Tabla 1.3 Eficiencias de remoción para la selección de los procesos de tratamiento. Adaptado de Metcalf y Eddy (2003)

Unidades de tratamiento	Remoción (por ciento)					
	DBO	DQO	SST	P _{total}	N _{org.}	NH ₃ -N
Reja de barras	0	0	0	0	0	0
Desarenadores	0-5a	0-5a	0-10a	0	0	0
Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0
Sedimentación primaria auxiliada químicamente	50-80	-	80-90	75-90	<30	<30
Lodos activados (convencional)	80-95	80-85	80-90	10-25	15-50	8-15
Zanja de oxidación	75-95	-	80-90	-	-	40-80
Filtros rociadores alta carga, medio natural	65-80	60-80	60-85	8-12	15-50	8-15
Filtros rociadores carga muy alta, medio sintético	65-85	65-85	65-85	8-12	15-50	8-15
Biodiscos	80-85	80-85	80-85	10-25	15-50	8-15
RAFA	-	90-95 ^c	-	-	-	-
FAFA	92 ^d	89 ^d	-	-	-	-
Laguna anaerobia	50-85	-	20-60			-
Laguna facultativa	80-95	-	70-80	30-45	70-90 ^b	-
Laguna de maduración	60-80	-	-	-	-	-
Filtración	20-50	20-50	60-80	20-50	50-70	0
Adsorción con carbón activado	35-36	50-85	50-85	50-80	10-30	30-50
Ósmosis inversa	90-100	90-100	-	90-100	90-100	60-90
Electrodialisis	20-60	20-60	-	-	80-95	30-50
Intercambio iónico	0	0	0	0	0	90-95

^a El límite superior corresponde al caso cuando no se lava la arena

^b Remoción de NTK

^c Con cargas de DQO entre 12-20 kg DQO/(m³ d) en una variedad de aguas residuales a 30-35 °C

- Sin dato

Tabla 1.4 Remoción de microorganismos en diferentes sistemas de tratamiento (EPA, 1992* y Metcalf y Eddy, 2003)

Proceso de tratamiento	Remoción (por ciento)			
	Bacterias	Helmintos	Virus	Quistes
Sedimentación primaria	0-90(25-75)*	0-99	0-90	0-90
Sedimentación primaria auxiliada químicamente	90-99(80-90)*	90-99.9 ^e	0-90	0-90
Lodos activados ^b	0-99	0-99	0-90	0-90
Biofiltración ^b	0-99	0-99	0-90	0-90
Lagunas aireadas	90-99	90-99.9 ^e	90-99	0-90
Zanjas de oxidación ^b	90-99	0-99	90-99	0-90
Desinfección ^c	99-99.9999 ^e	0-90	0-99.99	0-99.9
Lagunas de estabilización ^d	90-99.9999 ^e	90-99.9 ^e	90-99.99	90-99.99

^a Se necesitan más estudios para confirmar la eficiencia

^b Incluyendo sedimentación secundaria

^c Cloración u ozonación

^d La eficiencia de remoción depende del número de lagunas en serie y otros factores ambientales

e Con un buen diseño y operación apropiada las remociones señaladas son alcanzables

bajantes de edificios y tapas de pozos de registro

4. Aguas pluviales. Agua resultante de la escorrentía superficial

Para la conducción de las aguas residuales y pluviales se emplean tres tipos de redes de alcantarillado: redes sanitarias, pluviales y combinadas. En los casos en los que se recogen por separado las aguas residuales (red sanitaria) y las pluviales (red de aguas pluviales), los caudales de aguas residuales están compuestos por: (1) agua residual doméstica, (2) agua residual industrial, (3) infiltración y aportaciones incontroladas. En los casos en los que se emplea una única red de alcantarillado (red combinada), se deben añadir las aguas pluviales a estos tres componentes. En ambos casos, los porcentajes atribuibles a cada uno de los tipos de alcantarillado dependen de las características particulares de la zona y de la época del año.

La cantidad de agua residual que llega a las PTARS municipales varía dependiendo de hábitos y costumbres de la población, de la dotación del agua, instalaciones hidráulicas y muebles sanitarios y del consumo, entre otros factores. Debido a lo anterior, presenta una variación durante el día, la semana y los meses del año. Esta variación tiende a incrementarse con el deterioro de los sistemas del alcantarillado y en la época de lluvias. En las variaciones de caudal (gasto) de aguas residuales municipales se observa el caudal menor entre las dos y seis horas y los mayores se observan entre las nueve y 18 horas. El consumo per cápita mínimo adoptado para el abastecimiento de agua de pequeñas poblaciones es de 80 L/(hab d), pudiendo alcanzar un máximo de 150 L/(hab d) en ciudades con población superior a 100 000 habitantes. El valor mínimo usualmente adoptado es de 150 L/

(hab d) de acuerdo a Rolim Mendonca (2000). Existen en México consumos mayores al indicado, por Rolim ya que también dependen del clima, de la importancia económica de la localidad, además de la población servida.

La medición del agua residual (gasto) que ingresa a una PTAR es necesaria para el funcionamiento de la misma, porque éstas se diseñan para un caudal definido y cuando este excede, puede ocasionar una desestabilización en los procesos.

La medición del gasto también es útil para realizar la preparación de muestras compuestas, ya que estas tienen el fin de representar el promedio de las variaciones de los componentes del agua residual y una concentración promedio en un turno, un ciclo de producción o un día. Para el aforo de una descarga se utilizan métodos directos (volumen-tiempo) y métodos indirectos (escuadra, área-velocidad, carga piezométrica).

El gasto medio del afluente debe conocerse con el propósito de controlar la operación de una planta de tratamiento de aguas residuales. Con esto es posible calcular las cargas orgánicas e hidráulicas con las que trabaja cada una de las unidades de proceso y así realizar las modificaciones pertinentes. Esto con el fin de evitar variaciones significativas en la calidad del agua residual tratada. El conocer con un buen grado de exactitud el gasto y la calidad del agua presente permitirá tomar mejores decisiones ante grandes variaciones de gasto y contaminantes, soportando los picos y depresiones a las que se somete la PTAR en un momento dado. Los tres dispositivos de medición del gasto más comúnmente usados en las plantas de tratamiento de aguas residuales son los vertedores, los medidores a presión y los canales Parshall.

1.2. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

El conocimiento de la naturaleza de las aguas residuales es fundamental para el diseño y operación de las instalaciones de recolección, tratamiento y disposición de las mismas. Las aguas residuales se caracterizan por ser una mezcla de contaminantes físicos, químicos y biológicos, con propiedades específicas (Metcalf y Eddy, 2003). Las características varían dependiendo del origen del agua residual.

En un sistema de alcantarillado municipal las aguas residuales predominantes son las de tipo doméstico; las variaciones de la calidad se deberán a la presencia de actividades comerciales e industriales. En la Tabla 1.5 se presentan los principales constituyentes de las aguas residuales, los contaminantes más representativos y su significado para el tratamiento y disposición en el medio.

Materia en suspensión. La materia en suspensión está compuesta por diversos tipos de sólidos: flotantes, sedimentables y coloidales. Además, por su composición pueden ser inorgánicos u orgánicos o contribuir al aumento de una sustancia en solución. Por definición, un sólido suspendido es aquel que puede retenerse en un filtro estándar de fibra de vidrio con poros cuyo diámetro nominal sea 1.2 micrómetros. Los sólidos que pasen a través de dicho filtro representan la fracción filtrable que está compuesta por los sólidos coloidales y los sólidos disueltos. El origen de los sólidos suspendidos es muy amplio y diverso, casi todos los usos del agua aportan este tipo de sólidos al agua residual, es decir, las fuentes de sólidos suspendidos pueden ser domésticas, pecuarias, agrícolas e industriales, además de ocurrir en forma natural.

Los sólidos coloidales constituyen la fracción de los sólidos que pasan por el filtro de fibra de vidrio de poros de 1.2 μm de diámetro.

De los sólidos disueltos, no todos están verdaderamente disueltos, puesto que se incluyen algunos sólidos en estado coloidal. El término se refiere a aquellos sólidos que pasan a través del filtro de fibra de vidrio de poros de 1.2 μm de diámetro.

Potencial de hidrógeno. Es el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno en el agua ($\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$). Cuando se presenta una mayor concentración de iones $[\text{H}^+]$ el pH del agua se dice que es ácido y su valor será menor a 7, pero mayor o igual a 0. Por otra parte, cuando el ion $[\text{OH}^-]$ es el que abunda, entonces se dice que el agua es básica o alcalina y el valor del pH será mayor a 7, pero menor a catorce.

Existen métodos analíticos indirectos que miden la cantidad de oxígeno requerida para la transformación de la materia orgánica. Los métodos de mayor uso son: la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno.

La DBO es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de cinco días.

La DQO es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas en medio ácido, en presencia de un oxidante fuerte (dicromato o permanganato de potasio) y con aplicación de calor, en un equipo de reflujo. Bajo tales condiciones se oxida toda la materia oxidable presente en la muestra, incluso aquella que los microorganismos son incapaces de degradar. Por ello, la DQO será mayor a la DBO y

la relación DQO/DBO, es un indicador de qué tan biodegradable es el agua residual.

El COT es otra forma de medir la materia orgánica que se encuentra en el agua residual. Se denomina prueba del carbón orgánico total y es la cantidad de carbono unido a un compuesto orgánico y se determina mediante combustión.

Sustancias tóxicas. Es la capacidad de cualquier sustancia química de producir efectos perjudiciales sobre un ser vivo, al entrar en contacto con él. Hay sustancias tóxicas animales y vegetales (biotoxinas), minerales (metales pesados y no metales como el arsénico) y sustancias generadas por el hombre.

Tabla 1.5 Fuentes y efectos de los principales contaminantes en las aguas residuales (EPA, 1992)

Constituyente	Contaminantes	Importancia
Sólidos suspendidos	Incluye partículas suspendidas de tipo orgánico (volátiles) e inorgánico (fijos)	Las partículas suspendidas adsorben contaminantes orgánicos y metales pesados; protegen a los microorganismos de los agentes desinfectantes y en cantidades excesivas tapan los sistemas de irrigación
Materia orgánica biodegradable	Demanda bioquímica de oxígeno Demanda química de oxígeno Carbón orgánico total (COT)	Si se descarga al ambiente su estabilización biológica consume oxígeno y desarrolla condiciones sépticas que significan problemas estéticos y de salud ambiental. La materia orgánica provee alimento a los microorganismos e interfiere con los procesos de desinfección
Nutrientes	Nitrógeno Fósforo	Nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas; su presencia mejora la calidad del agua de riego. Cuando son descargados a un cuerpo de agua, el N y el P pueden influir en el crecimiento de malezas acuáticas (como el lirio). Al aplicar niveles excesivos de N en los cultivos, puede incrementarse la concentración de nitratos en aguas subterráneas
Compuestos orgánicos estables	Compuestos específicos (ej. pesticidas, hidrocarburos halogenados)	Algunos de estos compuestos resisten los métodos convencionales de tratamiento y son tóxicos en el ambiente, lo que puede limitar los usos del agua, sobre todo para consumo humano
Concentración de iones hidrógeno	pH	Afecta la desinfección, la coagulación, la solubilidad de los metales y la alcalinidad. En las aguas domésticas el pH va de 6.5 a 8.5, pero en las aguas industriales puede variar en un intervalo más amplio
Metales pesados	Elementos específicos (ej. Cd, Zn, Ni, etc.)	Algunos se acumulan en el ambiente y son tóxicos para plantas y animales
Compuestos inorgánicos disueltos	Sólidos disueltos totales Conductividad eléctrica Elementos específicos (ej. Na, Ca, Mg, Cl, B)	En cantidades excesivas pueden dañar cultivos y suelos; iones específicos como los cloruros, sodio y boro son tóxicos para algunos cultivos
Microbiológico	Virus Bacterias Protozoarios Helmintos	Existen en grandes cantidades en las aguas residuales y son transmisores de enfermedades contagiosas para el hombre que en la actualidad presentan un grave problema de salud en el país

Algunos ejemplos de sustancias minerales tóxicas son: cianuro, arsénico, cobre, mercurio, níquel, plomo, cromo y zinc. Ejemplos de sustancias tóxicas orgánicas: fenoles, benceno, tolueno, bifenilos policlorados y los pesticidas.

Nutrientes. El nitrógeno es un elemento importante ya que las reacciones biológicas solo pueden efectuarse en presencia de suficiente nitrógeno. Éste puede presentarse en cuatro formas principalmente: nitrógeno orgánico (en la forma de proteínas, aminoácidos y urea); nitrógeno amoniacal (como sales de amoníaco o como amoníaco libre); nitrógeno de nitritos (una etapa intermedia de oxidación que normalmente no se presenta en grandes cantidades); nitrógeno de nitratos (producto final de la oxidación del nitrógeno). La oxidación de los compuestos de nitrógeno se llama nitrificación y la reducción del nitrógeno se llama desnitrificación. Las descargas domésticas son de los principales portadores a los cuerpos receptores de nutrientes, al igual que las escorrentías, descargas agrícolas y algunas industrias, provocando la eutrofización de los cuerpos receptores.

Grasas y aceites. Son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal, vegetal e hidrocarburos del petróleo. Son de baja o nula biodegradación y poseen características especiales: baja densidad y poca solubilidad en el agua. Por ello tienden a separarse de la fase acuosa, ocupan la superficie del líquido que las contiene y forman natas.

Agentes biológicos. Los agentes biológicos de interés en la contaminación del agua son principalmente los microorganismos, dentro de los

cuales se encuentran los virus, las bacterias, protozoarios y los huevos de helminto.

En la Tabla 1.6 se presentan los datos típicos de los constituyentes encontrados en el agua residual doméstica. En función de las concentraciones de estos constituyentes, se puede clasificar el agua residual como concentrada, media o débil. Tanto los constituyentes como sus concentraciones presentan variaciones en función de la hora del día, el día de la semana, el mes del año y otras condiciones locales. Por ello, los datos de la Tabla 1.56 pretenden solamente servir de guía y no como base de un proyecto. En consecuencia, es necesario realizar una caracterización del agua residual a tratar en una planta de tratamiento.

En la Tabla 1.7 se presentan los parámetros de calidad a evaluar en las aguas residuales.

1.3. MUESTREO

El objetivo del muestreo es coleccionar una porción del material que represente el estado actual de la composición del agua residual, con el fin de determinar sus características físicas y químicas (NMX-AA-003, 1980).

Antes de realizar un muestreo se debe llevar a cabo lo siguiente: hacer una visita previa al sitio de muestreo para verificar que este sea representativo; contar con el personal capacitado para su realización; prever el equipo y materiales adecuados para la toma de muestras; resolver la preservación y el transporte seguro hacia el laboratorio en donde se realizará el análisis de las muestras.

Tabla 1.6 Características típicas de aguas residuales municipales. Adaptado de Metcalf y Eddy (2003)

Parámetro	Unidad	Débil	Media	Fuerte
Sólidos suspendidos	mg/L	100	220	350
Porcentaje de sólidos volátiles	%	80	75	75
DBO	mg/L	110	220	400
DBO soluble	mg/L	88	165	300
DQO	mg/L	250	500	1 000
DQO soluble	mg/L	175	350	700
Nitrógeno total Kjeldahl (NTK)	mgN/L	20	40	85
Fósforo total	mgP/L	4	8	15
Amoniaco	mgN/L	12	25	50
pH		7.6	7.6	7.6
Cationes	mg/L	75	160	265
Aniones	mg/L	75	160	265
Sólidos sedimentables	mL/L	5	10	20
Grasas y aceites	mg/L	50	100	150
Nitritos	mg/NL	0	0	0
Nitratos	mg/NL	0	0	0
Fracción no degradable de SSV	%	20	20	20
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/L	50	100	200
Coliformes totales	n.º/100 mL	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹

Tabla 1.7 Parámetros a evaluar en las aguas residuales. Adaptado de Metcalf y Eddy (2003)

Parámetros	
Gasto	Promedio (mínimo, máximo) Patrones de flujo Velocidad
Características físicas	pH, temperatura, color
Contaminantes no específicos	Sustancias biodegradables Sustancias no biodegradables Salinidad Sólidos suspendidos
Contaminantes específicos	Contaminantes prioritarios Grasas y aceites Compuestos orgánicos (COVs) Metales Compuestos xenobióticos
Otros factores	Patógenos Otro tipo de compuestos

Es necesario elaborar un diagrama de flujo de la PTAR para establecer los puntos de muestreo y con esto elaborar el plan de muestreo que se va a llevar a cabo.

En dicho plan se indica el número de muestras a entregar al laboratorio, así como los parámetros que se van a determinar, dependiendo del objetivo de muestreo. El plan de muestreo debe contener objetivo, antecedentes, tipo de muestreo, control de calidad, ubicación y descripción de los

puntos de muestreo, así como medio de transporte, participantes, plan de seguridad y lista de verificación de material, reactivos y equipo para el muestreo. Se debe contar con una bitácora en la que se registre toda la información referente a las observaciones de campo o del muestreo, debiendo incluir dicha bitácora como mínimo la siguiente información: propósito del muestreo, descripción de los puntos de muestreo, tipo de muestras, método de preservación, número y volumen de muestras, fecha y hora de muestreo, nombre del personal que toma la muestra, la preservación de la muestra, la identificación de la muestra, mediciones de campo y nombre y firma del personal responsable de las observaciones (Escalante, V., 2006).

Adicionalmente a las muestras a recolectar, se deben contemplar los blancos de viaje, el blanco de campo y muestras duplicadas.

Los blancos de viaje se preparan con agua destilada o desionizada un día antes del muestreo, de acuerdo con los parámetros a evaluar y agrupándolos por parámetros de igual preservación. Se marcan como blanco de viaje y se guardan en una hielera a 4 °C, en la que se transportarán también las muestras. Al final del muestreo los blancos de viaje se envían al laboratorio en las mismas condiciones que las muestras.

Primero se toman las muestras de parámetros microbiológicos, se continúa con la obtención de las muestras de grasas y aceites e inmediatamente se mide el gasto, temperatura y pH del agua así como la temperatura ambiente. Posteriormente se toman las muestras en el siguiente orden: materia flotante, DBO, sólidos sedimentables (SS), sólidos suspendidos totales (SST), fósforo total, nitrógeno total, metales y cianuros. Todas las muestras simples deben preservarse de acuerdo con lo que

le corresponda. Durante el muestreo, cuando se considere que es el momento de mayor contaminación, se tomarán la muestra doble y el blanco de campo. El blanco de campo es una muestra de agua destilada y desionizada que se envasa, etiqueta y sella durante el muestreo. Sirve para identificar la contaminación durante la toma y transporte de muestras. Después, cuando se prepara la muestra compuesta, se verifica el pH y, de ser necesario, se ajusta. De la misma manera, se verifica el pH de las muestras para grasas y aceites (simples) antes de sellarlas.

En el muestreo se requiere tener la cadena de custodia, indicando paso por paso el camino que siguen las muestras, desde su origen hasta el análisis final en el laboratorio; dicha cadena de custodia deberá contener todas las firmas, desde la del muestreador hasta la del analista y por supuesto, también deberá incluir la transferencia de posesión con hora y fecha. Lo anterior con el propósito de corroborar, en parte, que la muestra fue apropiadamente colectada, preservada, transportada y analizada.

Por otro lado, las muestras duplicadas en campo (dos grupos de muestras colectadas de un mismo sitio) sirven para verificar la precisión del equipo o técnica de muestreo.

El blanco de viaje, que consiste en llevar al campo una alícuota de agua o solvente libre de contaminantes en contenedores sellados y transportados de regreso al laboratorio con los contenedores de las muestras, tiene el propósito de verificar la contaminación originada por el transporte y envío.

El blanco de campo, que consiste en llevar al campo una alícuota de agua o solvente libre de contaminantes en contenedores para ser preser-

vados en campo y transportados de regreso al laboratorio con los contenedores de las muestras, tiene el propósito de verificar la contaminación originada en el sitio de muestreo.

1.3.1. APARATOS Y EQUIPOS

Los recipientes para las muestras deben ser de materiales inertes al contenido de las aguas residuales. Se recomiendan los recipientes de polietileno o vidrio con tapas de cierre hermético y de material afín al del recipiente. La capacidad mínima recomendada es 2 litros pero para determinar el volumen adecuado del recipiente se deberá preguntar al laboratorio que realizará los análisis por el volumen requerido; esto depende del número y tipo de parámetros que se van a determinar. El equipo necesario para las determinaciones de campo, como el potenciómetro o conductímetro, se debe recoger, revisar y calibrar en las 24 h previas al muestreo, y adicionalmente deberá recalibrarse en el campo antes de ser utilizado. Es necesario revisar todo el equipo electrónico y el estado de las baterías o pilas para que operen apropiadamente, así como inspeccionar las columnas de mercurio de los termómetros y verificar que se estén calibrados y con su certificado de calibración vigente. Los sensores de los equipos deberán lavarse tres o mas veces con agua destilada o desionizada cada vez que se realice una medición.

1.3.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

Se deben tomar las precauciones necesarias para que en cualquier momento sea posible identificar las muestras. Para esto se usan etiquetas

adheribles o colgadas, o se numeran los frascos anotando la información en una hoja de registro. Estas etiquetas deben contener como mínimo la siguiente información:

- Identificación de la descarga
- Número de muestra
- Fecha y hora de muestreo
- Punto de muestreo
- Preservación
- Parámetros a determinar
- Temperatura de la muestra
- Profundidad del muestreo
- Nombre y firma de la persona que efectúa el muestreo

1.3.3. HOJA DE REGISTRO

Se debe llevar una hoja de registro con la información que permita identificar el origen de la muestra y todos los datos que en un momento dado permitan repetir el muestreo. Se recomienda que la hoja de registro contenga la siguiente información:

- Los datos citados en identificación de muestras
- Resultados de pruebas de campo practicadas en la descarga muestreada
- Cuando proceda, el gasto o flujo de la descarga de aguas residuales que se muestreó
- Descripción detallada del punto de muestreo de manera que cualquier persona pueda tomar otras muestras en el mismo lugar
- Descripción cualitativa del olor y el color de las aguas residuales muestreadas

1.3.4. PROCEDIMIENTO

Los requisitos especificados en la norma NMX-AA-003-1980, deben cumplirse independientemente del método de muestreo que se aplique en cada caso.

1.3.5. TIPOS DE MUESTRAS

Muestra simple. La que se tome en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, el volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento del muestreo (SEMARNAT, 1996).

Muestra compuesta. Es la que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la Tabla 1.8 (SEMARNAT, 1996).

Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

Tabla 1.8 Frecuencias de muestreo (SEMARNAT, 1996)

Horas por día que opera el proceso generador de la descarga	Número de muestras simples	Intervalo entre toma de muestras simples (horas)	
		Mínimo	Máximo
Menor que 4	Mínimo 2	—	—
De 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

El volumen de cada muestra simple necesario para formar la muestra compuesta se determina mediante la siguiente ecuación:

$$VMS_i = VMC \frac{Q_i}{Q_t} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

donde:

VMS_i = volumen de cada una de las muestras simples i , L

VMC = volumen de la muestra compuesta necesario para realizar la totalidad de los análisis de laboratorio requeridos, L

Q_i = caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, L/s

Q_t = sumatoria de Q_i hasta Q_n , L/s

1.4. LEGISLACIÓN

La normatividad en materia de control de contaminación y relacionadas con el tratamiento de aguas residuales tratadas en México está comprendida en cinco normas. Estas normas son obligatorias en todo el país, de carácter general y establecen las condiciones mínimas que se deben cumplir para cada una de las actividades contempladas, relacionadas con el control de la contami-

nación de las aguas y actividades afines. Con base en las condiciones establecidas por cada norma, las autoridades correspondientes ya sea en el ámbito federal, estatal o local, podrán proponer condiciones más estrictas o adicionales para responder a los problemas propios de cada lugar. Los detalles de aplicación de cada norma deberán consultarse en los documentos específicos publicados en el Diario Oficial de la Federación. Las normas mencionadas son:

Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMAR-NAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMAR-NAT-1996, que establece los límites máximos

permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMAR-NAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMAR-NAT-2002, Protección ambiental- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

Norma Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA- 2003, Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada.

2

FILTROS ROCIADORES

2.1. ANTECEDENTES

El paso de aguas negras a través de medios porosos tiene sus antecedentes en la Estación Experimental Lawrence en Massachusetts, en las vegas del río Merrimac, entre 1887 y 1890. Se utilizaron diez tanques circulares de madera de ciprés de 5.2 m de diámetro y 1.8 m de altura llenos de varios materiales como arena, grava, turba, aluvión del río, marga, tierra vegetal y arcilla. Los resultados de las pruebas mostraron que cuando se pasa aguas negras a través de un medio, la purificación de las aguas ocurre principalmente por oxidación biológica más que por el efecto mecánico de cribado o filtrado.

En 1893, Joseph Corbett en Salford, Inglaterra, tomando como base los resultados de Lawrence, construyó el primer filtro rociador, aplicando agua rociada sobre el medio en lugar de contenerla en el filtro. El primer filtro rociador en los Estados Unidos fue construido en Madison, Wisconsin, en el año de 1901, con carácter experimental. La primera planta municipal que utilizó este procedimiento fue puesta en operación en 1908 en Columbus, Ohio.

Fue hasta 1930 que se utilizó el primer distribuidor rotatorio. En 1936, la recirculación fue empleada por primera vez en varias plantas de

tratamiento. En 1940, se desarrolló la primera ecuación cinética biológica. En 1950 se utilizaron por primera vez los medios plásticos.

El uso de los filtros biológicos decreció en la década de los sesentas y principio de los setentas, debido a la necesidad de producir mejores efluentes, lo que se logró con las plantas de lodos activados. Sin embargo, al final de los setentas, el creciente costo de la energía y avances en el diseño de filtros, como la mayor altura del filtro y aplicación de cargas más altas (debidas al mejoramiento de medios sintéticos) causó un renovado interés por el uso de los filtros rociadores. Este interés se ha incrementado actualmente por el creciente empleo de las plantas duales o combinadas, que producen efluentes de muy alta calidad acordes con las mayores exigencias que los organismos responsables del control de la contaminación están fijando para los efluentes de las plantas de tratamiento.

2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS FILTROS ROCIADORES

Los filtros rociadores se clasifican por su carga hidráulica o por su carga orgánica en:

- Baja carga (estándar)
- Carga intermedia
- Alta carga

- Súper alta carga
- De desbaste

Por su número:

- Una sola etapa
- Dos etapas (dos filtros conectados en serie)

La carga hidráulica se define como el gasto aplicado por unidad de superficie. Las unidades usuales en el sistema decimal son m^3 aplicados por m^2 por día ($\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$).

La carga orgánica se define como la masa de la materia orgánica biodegradable, medida como la DBO a 5 días y 20°C , aplicada por unidad de volumen de medio filtrante por día.

Las unidades usuales en el sistema decimal son kg de DBO aplicados por m^3 por día ($\text{kg DBO}/\text{m}^3 \text{ d}$). Es frecuente también la utilización de la DQO y el COT como unidades de medida de la materia orgánica.

2.2.1. DESCRIPCIÓN DE LOS DIVERSOS TIPOS DE FILTROS

Filtros de baja carga

Los filtros de baja carga son de diseño simple con funcionamiento confiable, que producen un efluente de calidad consistente, a pesar de que el afluente tenga concentración variable. Pueden ser circulares o cuadrados.

Normalmente no requieren recirculación; pero si el gasto nocturno es muy bajo, puede utilizarse recirculación para mantener húmedo el medio filtrante. El máximo periodo aconsejable para que el medio quede sin rociar es de 2 ho-

ras, para evitar deterioro del cultivo biológico. En la mayoría de este tipo de filtros, únicamente la parte superior del filtro (0.6 a 1.20 m) tiene un crecimiento abundante de cultivo biológico, quedando la parte inferior poblada de bacterias nitrificantes. Esta combinación de cultivos en un filtro bien operado, en condiciones climáticas favorables, logra la producción de un efluente con baja DBO, bien nitrificado. Los problemas que se presentan en estos filtros es la presencia de olores que se acentúa con afluentes sépticos, clima caluroso y la presencia de moscas que pueden proliferar, a menos que se apliquen medidas de control.

Filtros intermedios y de alta carga

En estos filtros la recirculación del afluente del filtro permite la aplicación de altas cargas orgánicas. En la Ilustración 2.1 se muestran diversos diagramas de flujo.

La recirculación, aparte de permitir mayores cargas que los filtros estándar obteniendo las mismas eficiencias, ayuda a evitar enlaguecimientos y a reducir molestias de olores y moscas.

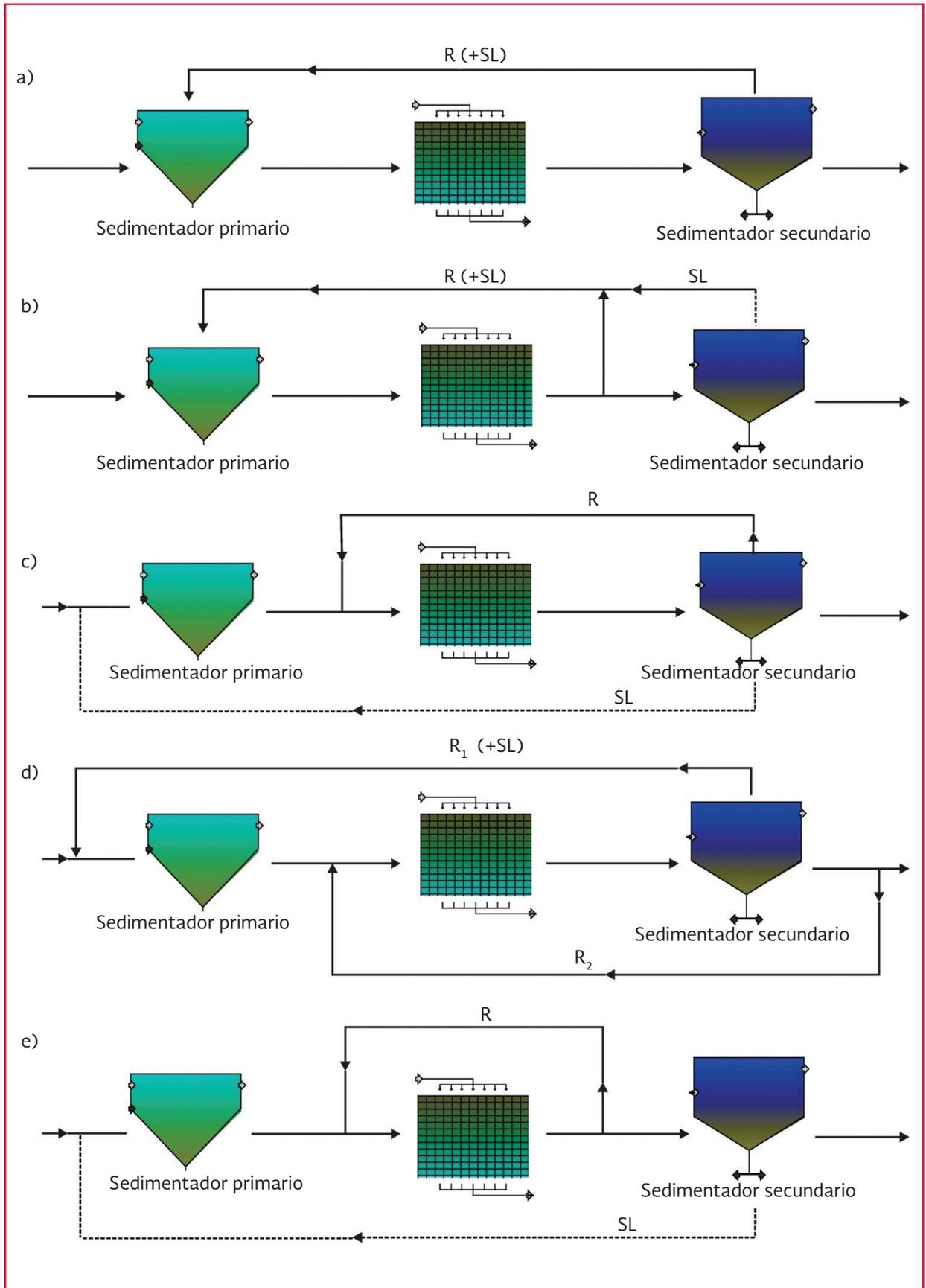
Filtros de súper alta carga

Aceptan cargas orgánicas e hidráulicas mayores que los tres tipos anteriores, debido principalmente a la mayor profundidad del medio filtrante. La gran altura es posible por el empleo de módulos de medios plásticos que son muy ligeros.

Filtros de desbaste

Se utilizan para tratar altas cargas orgánicas, mayores de $1.6 \text{ kg}/(\text{m}^3 \text{ d})$ y cargas hidráulicas hasta de $187 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ d})$. En muchos casos se utilizan previos a un tratamiento secundario para

Ilustración 2.1 Diagramas de flujo de arreglos de filtros rociadores



reducir la carga de residuos con muy alta demanda bioquímica de oxígeno.

Filtros de dos etapas

En la Ilustración 2.2 se muestran los sistemas de tratamiento que cuentan con filtros rociadores en dos etapas, con un sedimentador intermedio para remover los sólidos generados en el primer filtro. Son utilizados ocasionalmente para aguas residuales con alta carga. Estos sistemas de dos etapas de filtros rociadores también son utilizados cuando se requiere remover nitrógeno.

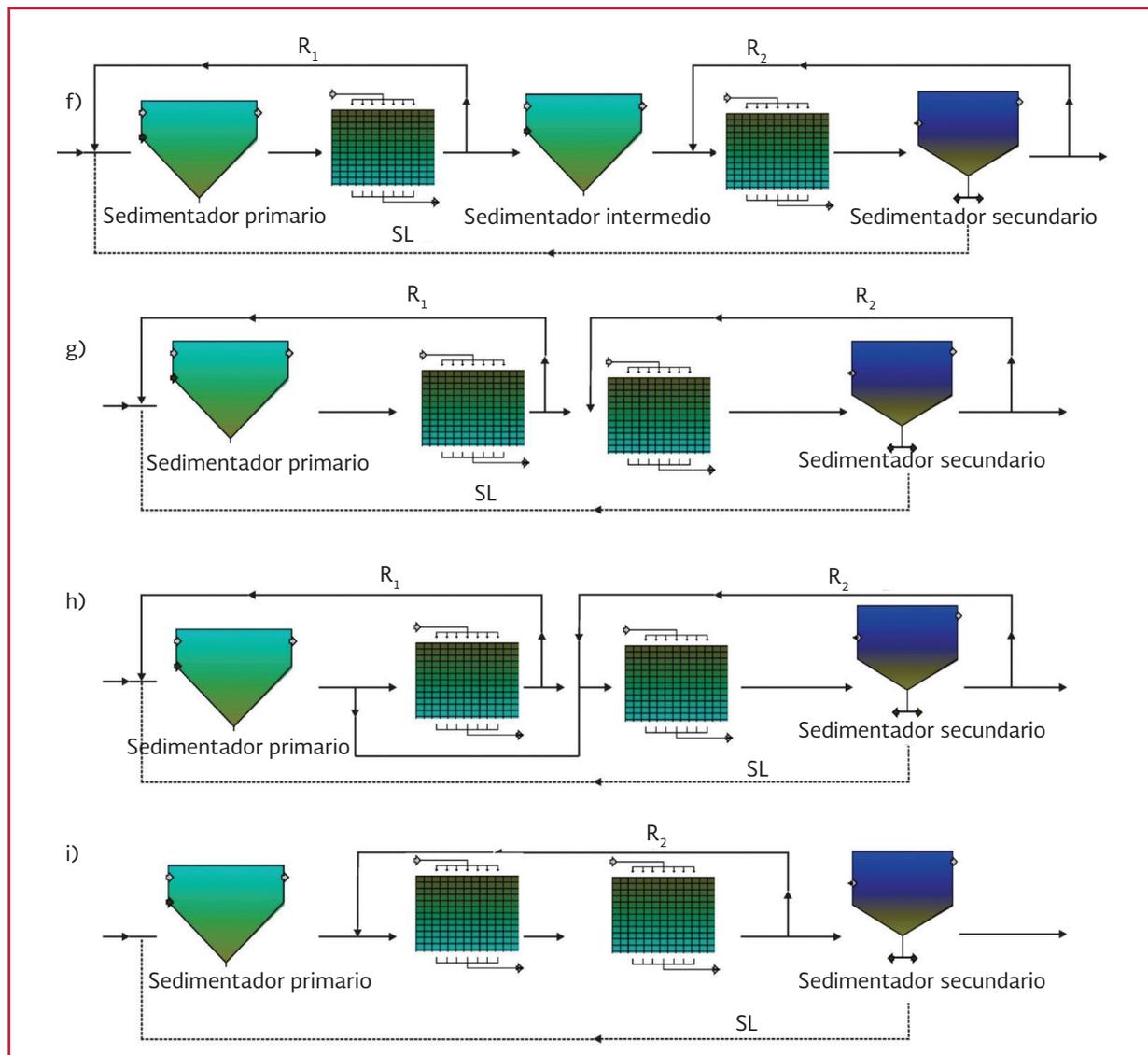
El primer filtro y el sedimentador intermedio remueven la materia carbonácea, mientras que la nitrificación ocurre en el segundo filtro (Metcalf y Eddy, 2003).

2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS FILTROS ROCIADORES

Componentes básicos

Para que los filtros rociadores puedan considerarse como una operación unitaria completa, en donde se llevará a cabo la remoción de la materia

Ilustración 2.2 Diagramas de flujo de filtros rociadores en dos etapas



orgánica y en ocasiones ocurrirá la desnitrificación, deben contar con los elementos necesarios para que su funcionamiento sea adecuado. La falta de un componente hará trabajar deficientemente la unidad completa. Los componentes básicos son:

- a) Sistema de distribución
- b) Medio filtrante
- c) Sistema de drenaje
- d) Estructura de contención
- e) Estación de bombeo de transferencia (con cierto tipo de topografía puede no ser necesario)
- f) Sedimentador secundario

Elementos de un filtro rociador

Con referencia a la Ilustración 2.3, se detallan en la Tabla 2.1 las partes de un filtro rociador.

Medio filtrante

Se han utilizado muchos medios filtrantes: grava, piedra quebrada, piedra de campo, boleos, tabiques, carbón, escoria, conchas de mariscos, latas de estaño, tiras de madera, tiras de polietileno, varias formas de plástico moldeado y módulos de láminas de plástico (Ilustración 2.4, Ilustración 2.5 e Ilustración 2.6).

Ilustración 2.3 Elementos de un filtro rociador

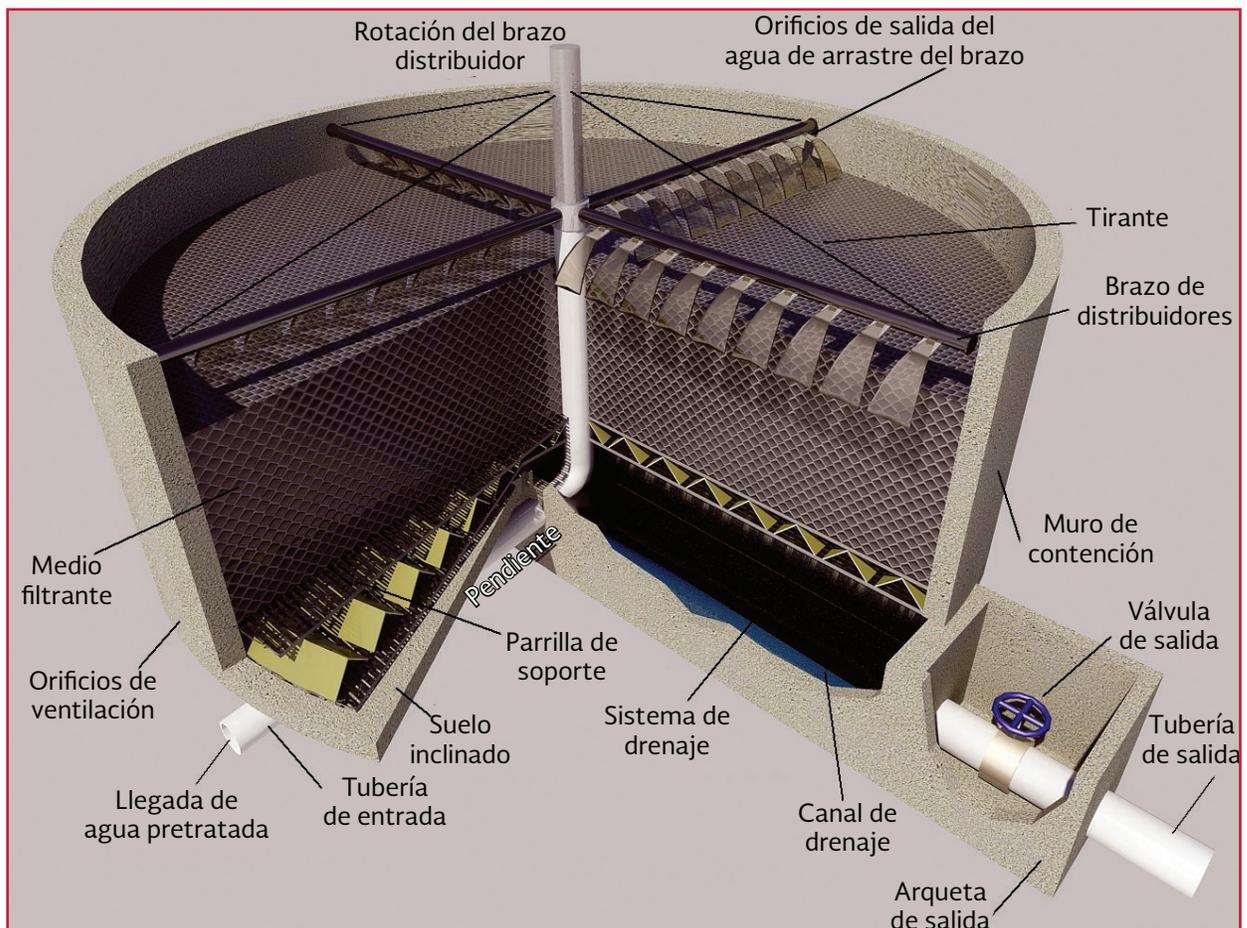


Tabla 2.1 Elementos de un filtro rociador

Elemento	Función
Tubería del afluente	Conduce el agua a ser tratada al filtro
Base del distribuidor	Elementos de soporte del brazo distribuidor
Balero del distribuidor	Permite el giro del distribuidor
Brazos del distribuidor	Conducen el agua a los orificios de rociado
Orificios de rociado	Controlan el gasto aplicado al filtro que debe ser uniforme por unidad de área del filtro
Orificios de reversa	Regulan la velocidad de los brazos
Platos distribuidores	Distribuyen el agua uniformemente al medio filtrante
Compuerta de desagüe	Para desagüe de los brazos, control de la mosca de filtros y limpieza de los brazos
Medio filtrante superficial	Proporcionar una gran área sobre la cual crece el cultivo biológico
Sistema de drenaje	Sirve de soporte al medio y recolecta el agua tratada para conducirla al canal recolector
Canal recolector	Drena el afluente del filtro a la caja de salida
Caja de salida controlada por una válvula	Opcional, solo se construirá si se desea inundar el filtro para control de la mosca
Tubo de salida	Conduce el efluente del filtro a la siguiente unidad del proceso

Ilustración 2.4 Medio filtrante: plástico



Tradicionalmente, el medio usual ha sido el de piedra quebrada. Cuando se cuenta localmente con buen material, la principal ventaja es su bajo costo. Cualquier roca usada como medio filtrante debe ser de tamaño uniforme para asegurar volumen de vacíos adecuado para el paso del agua y circulación del aire. El tamaño efectivo de la roca es de 75 a 125 mm (3 a 5 pulgadas). Las piedras de menor diámetro no proporcionan suficiente volumen de

vacíos y las demasiado grandes tienen área superficial insuficiente para el crecimiento biológico.

Debido al peso del medio, la profundidad del filtro se limita a 1.5 - 3.0 metros. Otras propiedades importantes de la piedra o de cualquier otro material que se utilice incluyen: gran resistencia, ausencia de finos, tamaño uniforme, insolubilidad y resistencia química al agua aplicada, así como la

Ilustración 2.5 Medio filtrante: piedra



Ilustración 2.6 a) altura de un filtro rociador con medio de piedra y de plástico b) medio filtrante: madera



resistencia a la desintegración por intemperismo, carencia de toxicidad a microorganismos, inmunidad a ataques bacterianos y degradación por rayos ultravioleta.

Los medios sintéticos fabricados en plásticos son ahora de uso común por sus ventajas sobre los medios de piedra. Sus ventajas son:

- a) Mayor área superficial por unidad de volumen para alojar el crecimiento biológico
- b) Mucha mayor relación de volumen de vacíos que mejora la circulación del aire y transferencia de oxígeno y decrece la posibilidad de taponamientos
- c) Aumenta el tiempo de retención hidráulico

- d) Su peso ligero permite construir filtros de mayor altura
- e) Su resistencia química a las aguas residuales es mejor
- f) Proporciona mejor distribución de las aguas residuales aplicadas
- g) No se requiere una estructura de contención de concreto reforzado, ya que los módulos de medio filtrante son autosoportables

Hay varias formas de medio plástico. El moldeado tiene la apariencia de un panal de abejas. Está formado por láminas de PVC lisas y corrugadas ensambladas con pegamento en módulos rectangulares. Las láminas tienen comúnmente superficie

corrugada para propiciar un mayor crecimiento biológico y aumentar el tiempo de retención. Cada capa de módulos se gira a 90° de la capa previa para mejorar la distribución del agua.

Los dos tipos básicos de módulos de medios plásticos corrugados son : el vertical y el de flujo cruzado a 60°, son los dos tipos básicos, de módulos de medio plástico.

En general, el módulo de flujo cruzado, proporciona mejor tratamiento por unidad de volumen, por la uniformidad de la distribución, permitiendo mayor tiempo de retención y promoviendo una mejor transferencia de oxígeno debida a la creación de flujo turbulento. El medio plástico vertical es apropiado para manejar aguas con alta carga orgánica ya que está menos expuesto a taponamientos.

Otro medio plástico también usado consta de piezas cilíndricas, similares a los tubos para rizar, colocados aleatoriamente en los filtros. Tiene la ventaja de no requerir cortes ni ajustes. Tiene menos vacíos que los medios laminados por lo que es más vulnerable a taponamientos, ello lo hace poco adecuado para manejar altas cargas orgánicas o hidráulicas.

Los módulos de medio plástico se cortan en el filtro para ajustarlos a su forma y dimensiones usando una sierra de cadena, cuidando que el material sobrante no caiga dentro del filtro.

El área superficial específica (área superficial por unidad de volumen) de los medios plásticos es de 2 a 10 veces mayor que la de los medios de piedra. El área superficial específica es de 80 a más de 245 m²/m³, normalmente.

Los medios con áreas superficiales específicas mayores de 130 m²/m³ se usan cuando la carga orgánica es baja o para nitrificación.

La carga hidráulica mínima de los medio plásticos es mayor que la que se aplica a medios de piedra, por tanto, la profundidad del cultivo biológico es menor debido a que se producen fuerzas mayores de cizalleo.

La altura de los filtros varía entre 4.5 a 12 m, considerando que el medio es de material plástico.

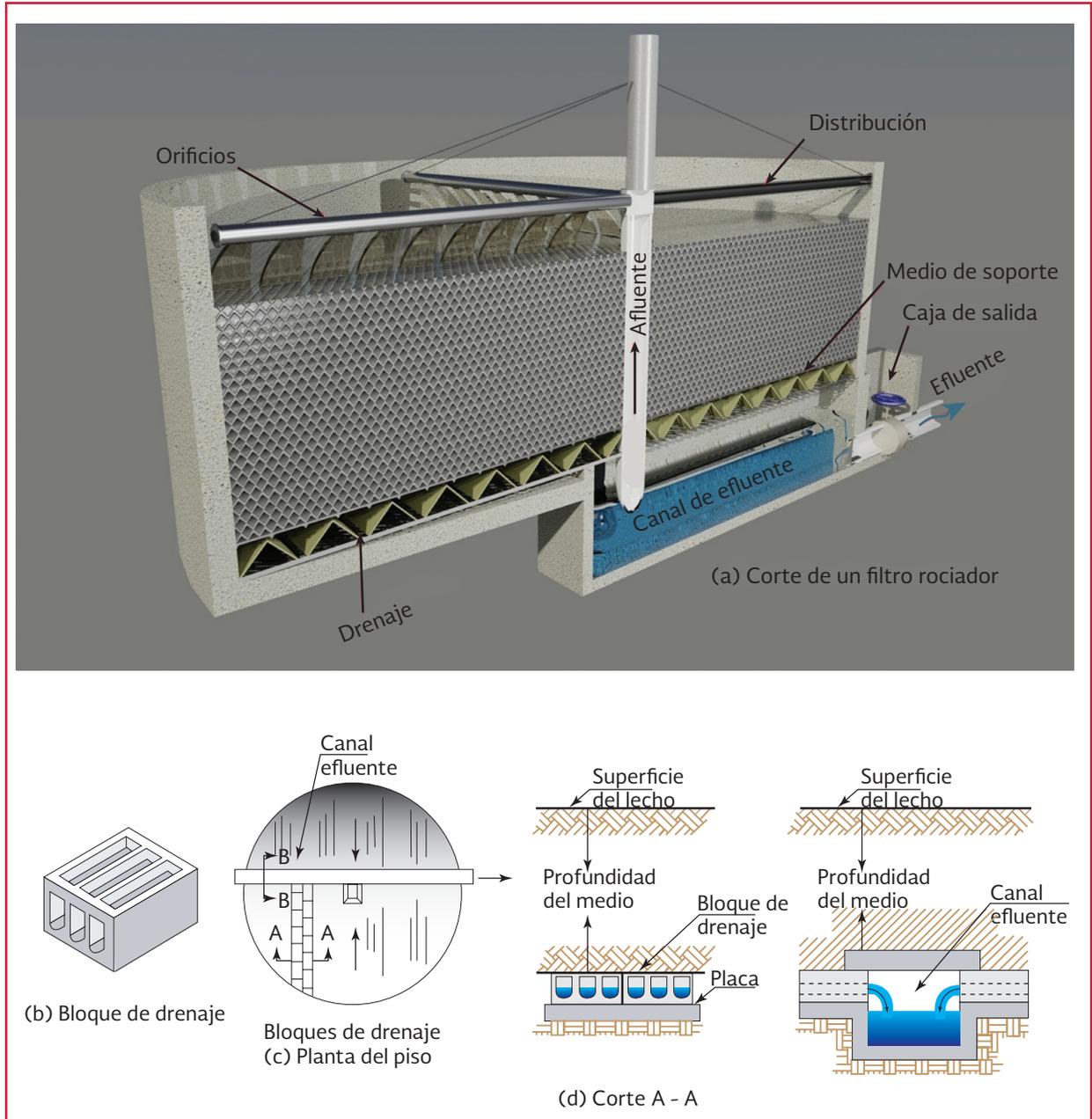
Sistema de drenaje

El sistema de drenaje tiene dos objetivos:

- a) Soporte del medio filtrante
- b) Colecta y transporta el efluente del filtro a las unidades de proceso siguientes

Los sistemas de drenaje (Ilustración 2.7) de los filtros de piedra normalmente son bloques de barro comprimido o vitrificado o fondos falsos de concreto reforzado. El piso y el sistema de drenaje deben tener suficiente resistencia para soportar el medio, cultivo biológico y el agua que se encuentra en el filtro. Tanto el piso como el sistema de drenaje tendrán pendiente de 1 a 5 por ciento hacia un canal recolector central o periférico. Los canales recolectores se dimensionan para tener una velocidad mínima de 0.60 m/s a gasto medio. Los bloques de barro son rectangulares con aberturas con área de 20 a 40 por ciento la superficie del block. Hay dos tipos de bloques, uno para filtros de baja carga y otro para filtros de alta carga.

Ilustración 2.7 Sistema de drenaje



Para permitir capacidad suficiente tanto para la conducción del agua como la circulación del aire, los bloques y los canales recolectores se dimensionan de tal forma que el agua no ocupe más de la mitad del área hidráulica a gasto máximo, incluyendo recirculación.

Algunos filtros rociadores tienen tubos de ventilación colocados en la periferia del filtro y

conectados al sistema de drenaje que ayudan a ventilar el filtro. Otros filtros tienen portales periféricos en la pared del filtro a la altura del sistema de drenaje que permiten ventilación e inspección, así como limpieza con chorros a presión, de ser necesario.

El sistema de drenaje y soporte para medio plástico es más simple y económico, empleándose

columnas y traveses, o una rejilla. El espaciamiento de traveses es por lo regular de 40 a 60 cm centro a centro, apoyándose sobre columnas. En filtros de gran tamaño, la altura comprendida del piso del filtro a las traveses de apoyo del medio permite la entrada de personas. Las rejillas deben ser fabricadas de materiales resistentes a la corrosión.

Película de lama microbiana

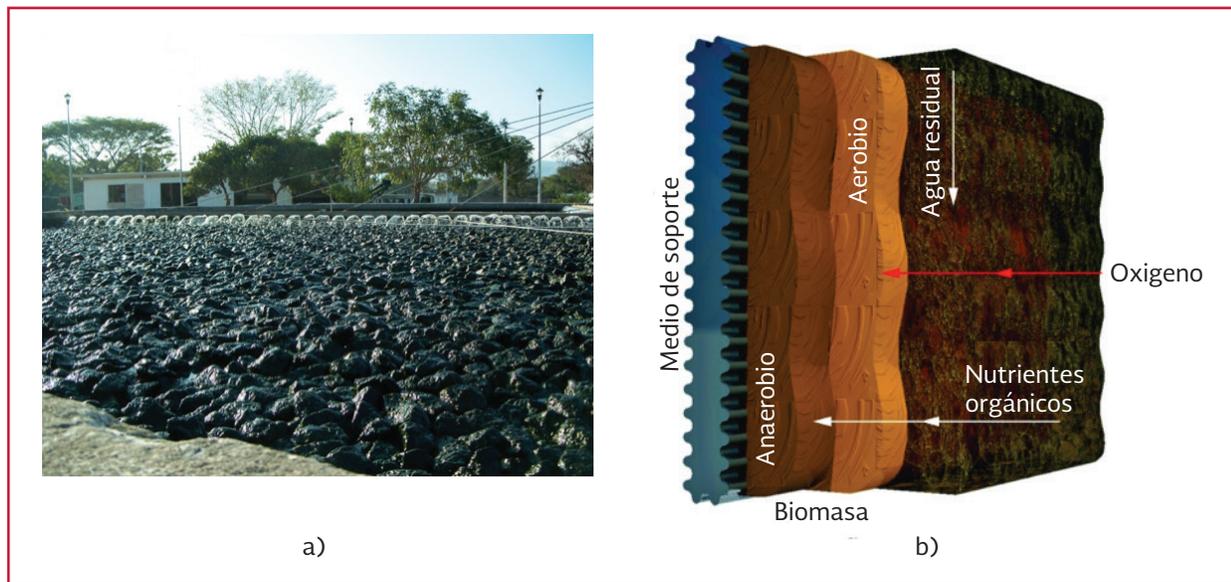
Los microorganismos emplean la materia orgánica como su fuente de alimentación y en presencia de oxígeno la metabolizan. El metabolismo de la materia orgánica abarca numerosas y complejas reacciones bioquímicas dentro de las células que componen los microorganismos, hasta obtener productos finales de desecho. A continuación se presenta, en forma muy esquemática, esta ecuación:



Ilustración 2.8 a) biomasa en reactor b) esquema básico de la biomasa fija

Para asegurar una degradación rápida de los compuestos orgánicos y libre de olores desagradables, el filtro debe permanecer en condiciones aerobias, es decir, debe haber suficiente oxígeno disuelto en el agua residual a medida que esta pasa por el medio filtrante. El oxígeno disuelto requerido proviene del aire que circula a través del filtro, si existe insuficiente circulación de aire se desarrollarán condiciones anaerobias, olores desagradables y la eficiencia del tratamiento disminuirá.

La Ilustración 2.8 muestra un diagrama de la capa biológica (zooglea) que se desarrolla en un filtro. Como se puede observar en esta figura, a través del fenómeno de difusión, el oxígeno contenido en las aguas residuales pasa a la superficie de la capa biológica y, a medida que los microorganismos de la biopelícula consumen el alimento, se reproducen, incremen-



tándose el espesor de la misma. Cuando esta ha crecido demasiado, el oxígeno es consumido rápidamente en la parte superficial generándose entonces condiciones anaerobias en las zonas más profundas donde los microorganismos anaerobios producen gases que tienden a separar la capa adherida al medio filtrante. La fuerza cortante ejercida por el agua residual aplicada favorece el desprendimiento de la película y se inicia el crecimiento de una nueva capa. A las partículas que se han desprendido se les denomina humus y son arrastradas junto con el agua tratada a través del sistema de drenaje hacia un tanque final de sedimentación.

Se ha observado que el espesor de la capa microbiana es una función de las cargas hidráulica y orgánica aplicadas al filtro y, en general, el espesor de la biopelícula tiende a ser mayor a medida que se aproxima a la superficie del filtro.

Como sucede con los sistemas biológicos de tratamientos residuales, el rango y las proporciones de las diferentes especies de organismos presentes en la población microbiana dependen de las condiciones de operación del sistema, especialmente la carga y la composición de nutrientes de las aguas residuales en proceso de tratamiento. Sin embargo, la lama microbiana de los rociadores es ecológicamente más compleja que, por ejemplo, los lodos activados.

El equilibrio entre las diferentes especies presentes varía también con la situación dentro del lecho, y cuando la unidad está situada al aire libre, el equilibrio ecológico mostrará también variaciones estacionales. La película de lama intervie-

ne en una compleja serie de cadenas alimenticias y relaciones entre el predador y la presa, desde las bacterias hasta los insectos, teniendo cada una de ellas un efecto significativo en la operación del rociador. Los sistemas de película fija reaccionan diferente ante los cambios en el ambiente operacional, como la temperatura y la presencia de cargas de choque y materiales tóxicos, comparados con los sistemas de crecimiento en suspensión, como el proceso de lodos activados.

El desarrollo de la película comienza con un medio de soporte limpio, el crecimiento inicial de la lama podrá necesitar varias semanas para alcanzar su desarrollo sobre la superficie del empaque, un proceso que se conoce como maduración. La lama se desarrolla a partir de los organismos presentes en aguas residuales o inoculados. Al principio, la eficiencia de purificación es baja, pero aumenta según se acumula la película de lama sobre las superficies del empaque. Conforme se consumen los nutrientes, la película de lama se hace más gruesa hasta que es suficientemente pesada para separarse del empaque por su propio peso y el flujo del líquido lo arrastra fuera del sistema.

Los procesos de purificación que tienen lugar en un rociador son, como los de un proceso de lodos activados, una combinación y aglomeración del material en la masa microbiana, oxidación microbiana de los nutrientes y conversión de los nutrientes a masa microbiana. La proporción con que cada componente contribuye al efecto global de purificación depende de la carga del sistema y de la naturaleza de las aguas residuales sometidas a tratamiento.

En el caso de aguas residuales que contengan una gran proporción de sólidos, el mecanismo de absorción puede llegar a ser el más importante, y a menudo, los sólidos afluentes se pueden recuperar de la lama desprendida, prácticamente sin cambio alguno.

2.4. PARÁMETROS DE DISEÑO PARA FILTROS ROCIADORES

El rango de cargas y las características más importantes de esta clasificación se muestran en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Información general sobre el diseño de filtros rociadores (WEF Manual of Practice No.8)

Característica	Carga				Filtros de desbaste	Filtros de dos etapas
	Baja	Intermedia	Alta	Súper alta		
Medio filtrante	Roca, escoria	Roca, escoria	Roca, escoria	Plástico	Plástico	Roca, escoria
Carga hidráulica m ³ /(m ² día)	1 - 4	4 - 10	10 - 40	40 - 200	160 - 533	10 - 40
Carga orgánica kg DBO/(m ³ día)	0.08 - 0.32	0.24 - 0.48	0.32 - 10	0.8 - 6.0	2.67 - 10.67	0.32 - 10
Profundidad, m	1.80 - 2.40	1.80 - 2.40	0.90 - 1.80	3 - 12	4.50 - 16	1.80 - 2.40
Relación de recirculación	0	0 - 1	1 - 2	0 - 2	1 - 4	0.5 - 2
Presencia de moscas	Muchas	Varias	Pocas	Pocas o ninguna	Pocas o ninguna	Pocas o ninguna
Desprendimiento del cultivo biológico	Intermitente	Intermitente	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo
Eficiencia de remoción DBO	80 - 90	50 - 70	65 - 85	65 - 85	40 - 65	85 - 95
Efluente	Bien nitrificado	Parcialmente nitrificado	Poca nitrificación	Poca nitrificación	No hay nitrificación	Bien nitrificado

3

PARÁMETROS PARA EVALUACIÓN DEL PROCESO

La evaluación del proceso es una medida esencial para controlar la calidad de la operación y determinar cambios en esta. En los filtros rociadores y biodiscos la evaluación del proceso se realiza controlando los siguientes análisis de laboratorio:

- Demanda bioquímica de oxígeno
- Demanda química de oxígeno
- Sólidos suspendidos
- Nitrógeno y fósforo

Se determina la eficiencia de remoción de estos parámetros de acuerdo con el modo de operación de la planta, como por ejemplo, el caudal de recirculación. La temperatura y el pH son parámetros importantes que deben considerarse para el control de la operación de la planta.

3.1. PARÁMETROS DE CONTROL

Oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto juega un papel importante en los cambios biológicos que se llevan a cabo en la depuración del agua. En plantas con bajos afluentes y grandes tiempos de

retención en sedimentadores, la cantidad de oxígeno disuelto es muy baja e incluso puede llegar a ser nula; este hecho ocasiona que proliferen las bacterias anaerobias y que el agua residual entre en condiciones sépticas desprendiendo malos olores. Ya que las bacterias aerobias toman el oxígeno para realizar sus funciones metabólicas del que está disuelto en el agua, se debe asegurar una aeración adecuada del agua para satisfacer esta necesidad.

Demanda bioquímica de oxígeno. Esta determinación mide el oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica. Se puede calcular la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente. Los datos se utilizan para dimensionar las instalaciones de tratamiento, medir rendimiento de algunos de estos procesos y el cálculo de la velocidad a la que se requerirá el oxígeno. El cálculo es de la siguiente manera:

$$DBO = \left[\frac{100(DO_b - DO_i)}{\% \text{ Dilución}} \right] - DO_b - DO_s$$

Ecuación 3.1

donde:

- DO_b = concentración de O_2 disuelto encontrado en el testigo y diluciones de muestras
- DO_i = concentración de O_2 disuelto al final del período de incubación
- DO_s = concentración de O_2 disuelto originalmente presente en la muestra sin diluir

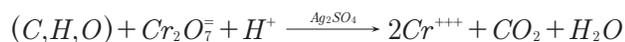
Cuando el valor de DO_s se aproxima al de DO_b , o si el valor de DBO es mayor a 200 mg/L, el segundo término es despreciable.

La oxidación bioquímica es un proceso lento y teóricamente tarda un tiempo infinito en completarse. En un periodo de 20 días, se completa del 95 al 99 por ciento de la reacción, y en el tiempo usualmente determinado, a temperatura constante de 20°C, se completa entre el 60 y 70 por ciento.

Las limitaciones en la determinación de DBO incluyen la necesidad de tener que disponer de una elevada concentración de bacterias activas que actúen como inóculo, la necesidad de reducir los efectos de organismos nitrificantes, el arbitrario y prolongado período de tiempo requerido para obtener resultados, el hecho de que solo se midan los productos orgánicos biodegradables y el que el ensayo no tenga validez estequiométrica una vez que la materia orgánica soluble presente en la solución haya sido utilizada.

Demanda química de oxígeno. El ensayo se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. El equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse se mide utilizando un fuerte agente químico oxidante, tal como el dicromato de potasio, en medio ácido a

temperatura elevada. Para facilitar la oxidación de ciertas clases de compuestos orgánicos se necesita un catalizador como sulfato de plata. La reacción principal utilizando dicromato como agente oxidante puede presentarse, de manera general, como la siguiente:



Ecuación 3.2

El ensayo se utiliza en aguas residuales industriales y municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica.

El valor de DQO de un agua residual, por lo general, es mayor que el valor de DBO porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológicamente. En muchos tipos de aguas residuales es posible correlacionar la DQO con la DBO , lo cual resulta útil porque el tiempo de determinación es de tres horas para la DQO , comparado con los 5 días para la demanda química de oxígeno.

Una vez establecida la correlación pueden utilizarse medidas de DQO para el funcionamiento y control de la planta de tratamiento.

Temperatura. La medición de la temperatura puede ser útil para identificar flujos infiltrados y descargas industriales ilegales. Asimismo, este parámetro es uno de los factores más importantes, ya que afecta el crecimiento bacteriano. Generalmente la tasa de crecimiento se duplica por cada 10 °C de incremento en la temperatura, según la temperatura óptima del microorganismo.

pH. Otro parámetro importante que se utiliza para controlar una planta de filtros rociadores es el pH. Por lo general, el valor del pH en el

afluente de un filtro rociador es muy variable, mientras que su efluente presenta valores cercanos a la neutralidad. Los cambios bruscos de pH usualmente se deben a descargas industriales y afectan gravemente la vida de los microorganismos que forman la zooglea.

Sólidos. La determinación de los sólidos sedimentables es de primordial importancia ya que nos permite calcular la cantidad de lodos esperados en los sedimentadores. Adicionalmente se emplea para estimar el volumen de sólidos removidos en la sedimentación.

Por su parte la cuantificación de los sólidos suspendidos es sumamente valiosa pues nos indica la cantidad de material en suspensión que puede ser removida por filtración o coagulación química. Las causas por las que un efluente puede presentar una gran cantidad de sólidos suspendidos son: formación de lodos en el medio filtrante, altas cargas hidráulicas o cortos circuitos a través del sedimentador secundario, así como sobrecargas orgánicas o choques causados por aguas residuales tóxicas.

Los sólidos totales del agua residual proceden del agua de abastecimiento, del uso industrial y doméstico y del agua de infiltración de pozos locales y aguas subterráneas. Los sólidos domésticos incluyen los procedentes de inodoros, fregaderos, baños, lavadoras, trituradores de basura y ablandadores de agua.

Analíticamente, el contenido total de sólidos del agua residual se define como toda la materia que queda como residuo de evaporación a 103 - 105 °C. La materia que tenga una presión de vapor significativa a dicha temperatura se elimina durante la evaporación y no se define como sólido. Los sólidos totales, o residuo de evaporación,

pueden clasificarse como sólidos suspendidos o sólidos filtrables, a base de hacer pasar un volumen conocido de líquido por un filtro.

La fracción de sólidos suspendidos incluye los sólidos sedimentables que se depositarán en el fondo de un cono Imhoff durante una hora. Los sólidos sedimentables son una medida aproximada de la cantidad de lodo que se eliminará mediante sedimentación.

La fracción de sólidos filtrables se compone de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal son partículas con diámetro entre 0.001 y 1 μm ; los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas e inorgánicas así como iones que se encuentran presentes en disolución verdadera en el agua.

Cada una de estas clases de sólidos puede clasificarse de nuevo en base a su volatilidad a 600 °C. La fracción orgánica se oxidará y será expulsada como gas a dicha temperatura, permaneciendo la fracción inorgánica como ceniza. El análisis de los sólidos volátiles se aplica más frecuentemente a los fangos del agua residual para medir su estabilidad biológica.

Nitrógeno. La determinación de los compuestos nitrogenados, tales como nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal, proporcionan elementos importantes en relación al control del proceso.

La cuantificación de nitritos se utiliza para conocer que también se está llevando a cabo la nitrificación del desecho en el proceso de tratamiento. Una alta concentración de nitritos indica una nitrificación incompleta que puede ocasionar problemas tales como una alta demanda de oxígeno o bien alta demanda de cloro en el efluente.

Los nitratos rara vez se encuentran en el agua cruda a tratar o a la salida del sedimentador primario, mientras que en el efluente del sedimentador secundario es posible encontrar concentraciones de hasta 50 mg/L, esto dependiendo del contenido de nitrógeno total del agua cruda que se procesa.

El nitrógeno amoniacal está asociado con la demanda de oxígeno requerida para oxidar el amoníaco durante el tratamiento secundario. La determinación de este parámetro evalúa el grado de nitrificación, el cual está ligado con la demanda de cloro del efluente.

Fósforo. El fósforo es uno de los nutrientes esenciales para el crecimiento de los microorganismos durante el tratamiento secundario, su deficiencia limita el crecimiento biológico y obviamente disminuye la eficiencia del proceso en lo referente a la remoción de DBO. El agua residual doméstica contiene aproximadamente 10 mg/L de fósforo, del cual puede removerse 20 a 30 por ciento durante el crecimiento biológico de los microorganismos. Además, se recomienda evaluar los siguientes parámetros: cloro residual, turbiedad y NMP, de acuerdo con el uso al que se destine el efluente.

Organismos coliformes. El tracto intestinal del hombre contiene innumerables bacterias en forma de bastoncillo conocidas como coliformes. Cada persona evacúa de 100 000 a 400 000 millones de organismos coliformes por día, además de otras clases de bacterias.

Los organismos coliformes no dañan el tracto digestivo del hombre y, de hecho, son útiles para destruir la materia orgánica en los procesos biológicos de tratamiento de las aguas residuales.

El grupo de coliformes son todos los microorganismos aerobios y anaerobios facultativos, bacterias Gram-negativo, no formadoras de esporas, las de forma de bastón, las cuales fermentan lactosa con formación de gas dentro de 48 horas a 35 grados centígrados.

Todos los organismos que producen una colonia con un brillo verde oro metálico dentro de 24 horas de incubación son considerados miembros del grupo coliforme.

La presencia de organismos coliformes se interpreta como una indicación de que los organismos patógenos también pueden estar presentes y su ausencia indica que el agua se encuentra exenta de organismos que producen enfermedades.

3.2. FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN EL FUNCIONAMIENTO

Antes de la década de los cuarentas la mayoría de las PTAR proporcionaban tratamiento biológico por película fija en filtros rociadores, declinando en los 50s debido a la aparición del uso masivo de sistemas de biomasa suspendida, principalmente lodos activados.

Las desventajas en esa época de los filtros rociadores eran, por un lado, el tipo de medio de soporte, entonces solamente de piedra, y también su baja eficiencia relativa (80-90 por ciento) contra la eficiencia de lodos activados (85-95 por ciento) para remover la demanda bioquímica de oxígeno.

A principios de los ochentas aparecieron los nuevos medios plásticos que incrementaron la capacidad y eficiencia de los filtros rociadores, haciéndolos resurgir nuevamente por sus ven-

tajas de simplicidad de operación, resistencia a cambios de cargas, baja producción de lodos y bajos requisitos de energía. El proceso de biomasa fija funciona igual que cualquier proceso biológico, su eficiencia se mide por la calidad de agua de su efluente como DBO y SST, comparada con estos mismos parámetros en el afluente del agua cruda. Esta eficiencia tiene que ser suficiente para cumplir con las normas de calidad que establecen las autoridades, esto es con las NOM-001, 002 y 003 - SEMARNAT.

Otros parámetros utilizados son la DBO soluble, la demanda química de oxígeno (DQO) y el nitrógeno amoniacal, de acuerdo con los objetivos del tratamiento. Los factores que afectan el proceso de película fija pueden ser atribuibles a procedimientos de operación y mantenimiento, condiciones ambientales, características del equipo y errores en el diseño original. Debido a que los procesos de película fija involucran procesos biológicos, los factores ambientales son cruciales en el funcionamiento del sistema; los factores que influyen en las características de las aguas residuales que serán tratadas son las condiciones climatológicas (temperatura, oxígeno disuelto), el comportamiento de la biomasa y el grado de pretratamiento antes del afluente al filtro.

Características de las aguas residuales

Los constituyentes orgánicos (y en ocasiones inorgánicos), son la fuente de alimentación y energía de los microorganismos en procesos de película fija, las características y cantidad de estos constituyentes son factores importantes que influyen en el proceso.

Los cambios a corto y largo plazo de las características del agua cruda pueden causar cambios importantes en los modelos de crecimiento de la biomasa fija, el efecto directo son los cambios en las eficiencias de tratamiento y la cantidad de lodos biológicos producidos.

Los procesos de película fija han sido usados para variación de materia carbonácea (remoción de DBO). La DBO es la forma de medir la cantidad de materia orgánica en el afluente y efluente de las plantas de tratamiento.

En algunos casos se utiliza la DQO para control de la operación, principalmente en aguas residuales industriales, donde este parámetro es más representativo.

En el caso de obtener nitrificación en el proceso, el parámetro a medir es el nitrógeno amoniacal en el afluente y efluente del filtro.

Variación de aguas residuales

Las variaciones en el gasto, concentración y características del agua cruda pueden afectar significativamente el funcionamiento del proceso de tratamiento y la calidad del producto final.

Las causas típicas de estas variaciones incluyen: contribuciones temporales o puntuales de descargas industriales que aumentan el gasto y principalmente la concentración y características del agua residual; recirculación de lodo y sobrenadantes al proceso; infiltración y otros factores.

El agua limpia que entra en los alcantarillados sanitarios, como el agua de lluvia y el agua que se infiltra en drenajes, diluyen la concentración de las aguas residuales e incrementan las cargas hidráulicas, con ello, el proceso de película fija sufre cambios importantes que se reflejan en la eficiencia total del tratamiento.

Aunque el proceso de filtros rociadores es razonablemente tolerante a variaciones de flujo y carga, estos factores pueden desestabilizar el funcionamiento de la planta de tratamiento,

PH y alcalinidad

Aunque los filtros rociadores son reconocidos por su resistencia a variaciones de carga, el cambio extremo de pH puede retardar el funcionamiento de la biomasa y disminuir su eficiencia, en casos severos puede ser tóxico para los microorganismos. En general, las bacterias sobreviven en rangos de pH de 5.5 a 9 y entre de 6.5 a 8.5 es mejor todavía.

Dependiendo de la capacidad de amortiguamiento de las aguas residuales, la nitrificación puede dar origen a un cambio de pH a valores menores, en algunos casos será necesario agregar alcalinidad con bicarbonatos o sosa para mantener el pH en el rango deseado.

Toxicidad

La toxicidad en aguas residuales que afecta la biomasa puede atribuirse a cantidades excesivas de sustancias orgánicas complejas, metales pesados, pesticidas, sales inorgánicas, amoníaco, y a desinfectantes como el cloro. Por ello, es necesario realizar una caracterización completa de las aguas residuales cuando se sospeche la presencia de algún toxico, principalmente

cuando existe alguna descarga de origen industrial.

El material tóxico que entra al sistema, aunque sea en pequeñas concentraciones, puede inactivar la población microbiana; cuando esto sucede, se puede incrementar el desprendimiento de la biomasa fija, disminuyendo la eficiencia del tratamiento.

Los organismos biológicos de la película fija (zooglea) pueden aclimatarse a sustancias tóxicas y el filtro seguirá su funcionamiento con bajas eficiencias. Sin embargo, cuando suceden choques por altas concentraciones o cambios repentinos en la concentración de un tóxico, el proceso puede desestabilizarse rápidamente si el tóxico penetra totalmente la película biológica.

Nutrientes

Las aguas residuales domésticas normalmente contienen nutrientes como nitrógeno y fósforo y elementos traza como potasio, calcio, magnesio, hierro, zinc y cobre. Esto usualmente asegura un buen crecimiento de la biomasa fija. Los niveles de estos nutrientes deben ser medidos y evaluados, especialmente si tenemos desechos industriales.

Una aproximación conservadora para determinar la cantidad de nitrógeno y fósforo está en función de la DBO afluente. La relación empírica normalmente usada es $P : N : DBO = 1:5:100$, para procesos biológicos aerobios.

Las fuentes disponibles de nitrógeno elemental y fósforo son el amoníaco y los ortofosfatos solubles $(PO_4)^{-3}$ respectivamente. Por esta razón, deben medirse estos parámetros en el agua afluente al filtro y así determinar si existe deficiencia de nutrientes. Cuando se requiere agre-

gar nutrientes al sistema, se pueden utilizar los nutrientes químicos como fuentes de nitrógeno y fósforo.

Ejemplo de cálculo de nutrientes para ser agregados al sistema.

1. Datos necesarios

- a) $DBO\text{ afluente} = 170\text{ mg/L}$
- b) $NTK\text{ afluente} = 4.5\text{ mg/L}$
- c) Relación sugerida
 $DBO/N = 100/5 = 20$
- d) Relación sugerida
 $DBO/P = 100/1 = 100$
- e) $Q\text{ medio diario } Q = 330\text{ L/s}$
- f) Amoniaco/N, relación de peso atómico
 $NH_3/N = 17/14 = 1.2$
- g) Fosfato trisódico/fósforo, relación de peso atómico
 $Na_3PO_4/P = 164/31 = 5.3$
- h) Ácido fosfórico/fósforo, relación peso atómico
 $H_3PO_4/P = 98/31 = 3.16$

2. Calcule la cantidad de N y P requeridos por día para alcanzar las relaciones propuestas

$$Necesidad\ de\ nutrientes = \frac{DBO\text{mg/L}}{\text{relación sugerida}}$$

Ecuación 3.3

$$Nitrógeno\ requerido = \frac{DBO\text{mg/L}}{\text{relación } DBO/N} = \frac{170}{20} = 8.5\text{mg/L}$$

Ecuación 3.4

3. Cálculo de la diferencia de nitrógeno

$$N_{req} = N\text{ necesario} - N\text{ disponible}$$

$$N_{req} = 8.5 - 4.5 = 4.0\text{ mg/L}$$

4. Calcule la cantidad de nitrógeno por día que se agregará

$$N = \text{concentración (gasto)}$$

$$N = \left(4m \frac{g}{L}\right) \left(330 \frac{L}{s}\right)$$

Ecuación 3.5

$$N = \left(\frac{4mg}{L}\right) \left(330 \frac{L}{s}\right) = 1\ 320 \frac{mg}{s} = 86\ 400\ s \frac{1kg}{1\ 000\ 000\ mg}$$

Ecuación 3.6

$$N = 114.05\text{ kg}$$

5. Calcule el peso del producto comercial que se agregará por día

$$P.\text{Químico} = \frac{\text{Nitrógenorequerido (peso atómico)}}{\text{concentración del químico}}$$

Ecuación 3.7

$$Amoniaco = \frac{(N \cdot kg/d) (1.2NH_3/N)}{(NH_3(\text{concentración}))}$$

Ecuación 3.8

$$Amoniaco\ 80\% \text{ grado comercial}$$

$$= \frac{114.05 (1.2)}{0.8} = \frac{136.86}{0.8} = 171\text{ kg/d}$$

Ecuación 3.9

Para este ejemplo fue necesario agregar amoniaco para proporcionar el nitrógeno requerido por los microorganismos para llevar a cabo sus funciones metabólicas. El nitrógeno presente en el agua cruda no fue suficiente, se dosificarán 171 kg de amoniaco grado 80, en 24 horas.

Temperatura

Como todos los tratamientos biológicos, la calidad del efluente de un sistema de biomasa fija

se puede determinar cuando disminuye la temperatura en forma significativa. En el caso de filtros rociadores, la torre de enfriamiento del agua residual que entra al filtro.

En un estudio (Pierce, 1978) se observó que con temperaturas bajas de invierno, la eficiencia global en DBO disminuyó al menos 33 por ciento en nueve filtros estudiados.

Los efectos adversos causados por la temperatura pueden reducirse con los métodos siguientes:

- Construir un edificio para mantener los filtros cubiertos
- Disminuir la recirculación tanto como sea posible para reducir los efectos de enfriamiento
- Reducir el tiempo de retención del sedimentador
- Operar filtros de dos etapas en forma paralela para reducir efectos de enfriamiento por menos pasos del brazo distribuidor
- Ajustar las placas de orificio del brazo distribuidor para evitar en lo posible el efecto de rocío
- Construir una barrera rompevientos para proteger los filtros del viento y reducir las pérdidas de calor
- Abrir ligeramente la válvula al final del brazo distribuidor para permitir el vaciado del agua de la tubería
- Cubrir el cárcamo de recirculación y el tanque dosificador para reducir pérdidas de calor

Oxígeno disuelto

Aunque la parte interna de la película biológica es anaerobia, el sistema tiene una parte impor-

tante aerobia que requiere oxígeno para oxidar la materia orgánica. Los requisitos de oxígeno están en función de la carga de DBO, el tipo de cultivo biológico, la temperatura y la carga hidráulica. Si el oxígeno disuelto no está presente en concentraciones suficientes, se presentan malos olores y disminuye la eficiencia del tratamiento. La ventilación del filtro es muy importante para mantener las condiciones aerobias del sistema, un adecuado sistema de drenaje y ventilación permitirán el flujo de aire cuando existe un diferencial de temperatura entre el agua y el aire, proporcionando una ventilación natural del sistema. Si se tienen concentraciones del oxígeno disuelto bajas, se pueden considerar las siguientes acciones:

- Destapar las tuberías de ventilación
- Remover la basura y material que obstruya el canal de drenaje
- Remover sólidos depositados en el canal de salida del efluente del filtro
- Si el sistema de drenaje trabaja a más de la mitad de su capacidad, disminuir el gasto de recirculación
- Incrementar la recirculación al máximo para remover el exceso de biomasa fija, si se tiene la capacidad de drenaje

En caso extremo, pueden colocarse ventiladores de aire forzado para mantener condiciones aerobias en sistemas de biomasa fija con alta formación de zooglea o con medios filtros demasiado profundos, o en sistemas cerrados por control de olor y temperatura.

Microbiología

Los procesos de biomasa fija producen una película biológica (zooglea) que cubre la superficie del medio. Cuando el proceso es usado para

remover DBO, la población microbiana está formada por varias especies de bacteria heterótrofas con pequeñas poblaciones de protozoarios y hongos. Si se usan para nitrificar, predominarán los microorganismos autótrofos nitrificantes con un pequeño número de heterótrofos. Bajo condiciones de baja concentración de oxígeno disuelto, deficiencia de nutrientes, o valores bajos de pH, crecerán hongos y bacterias encapsuladas como especies predominantes. El funcionamiento del sistema se reducirá, debido a que las reacciones metabólicas son muy lentas para ese tipo de microorganismos. Cuando se aplican las aguas residuales al filtro, la zooglea crece en espesor en el medio filtrante, el exceso de biomasa es desprendido periódicamente y removido en el sedimentador secundario. Algunos investigadores han observado que la efectividad de la biomasa se incrementa hasta cierto espesor de la película biológica, la razón de esto es la dificultad para que el sustrato y el oxígeno disuelto alcancen la zona profunda de la película. Además, el espesor de la película es muy importante en el funcionamiento del filtro e incide en la eficiencia del tratamiento. El control de espesor se logra con el crecimiento de organismos como gusanos, larvas, y rotíferos que forman conductos en la biomasa, o bien con alta carga hidráulica que induzca el desprendimiento de la biomasa. Los

organismos mencionados son más comunes en filtros de baja carga hidráulica, mientras que el control del espesor se realiza en filtros de alta y súper alta carga por medios hidráulicos (por ejemplo incrementando la recirculación).

Grado de pretratamiento

Las características del agua residual afluyente al filtro rociador es afectada por el tipo y la eficiencia de los procesos de pretratamiento anteriores al filtro. Estos procesos son generalmente por rejillas, desarenadores y sedimentadores primarios o algún otro pretratamiento para aguas residuales industriales, como podría ser tratamiento primario avanzado para reducir sólidos suspendidos y DBO, control de pH, adición de químicos, preaeración, remoción de tóxicos específicos, reducción de carga, etcétera.

3.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EFICIENCIA

Medio filtrante y profundidad

Los medios filtrantes más comunes en filtros rociadores son la piedra, la madera y el plástico. Dependiendo del tipo de medio, la profundidad mí-

Ilustración 3.1 Medio filtrante



nima del filtro es de 1.5 metros. La profundidad máxima del filtro de roca es de 3 m por el peso de la roca. Los medios de madera y plástico pueden tener profundidades de 10 m o más. La profundidad máxima de estos medios depende del análisis de costo de bombeo. El tiempo de paso a través del filtro se incrementa con la profundidad y por tanto el grado de tratamiento.

Los medios filtrantes plásticos pueden ser de flujo vertical o de flujo cruzado o de la forma aleatoria. El medio plástico tiene una alta área superficial específica y más espacios vacíos que el medio de roca. Los valores altos de área superficial específica permite cargas orgánicas mayores debido a que tenemos mayor película biológica por unidad de volumen del filtro.

Mayores espacios vacíos permiten altas cargas orgánicas e hidráulicas por el incremento del flujo de aire a través del filtro, reduciendo taponamientos por el crecimiento de la biomasa.

Carga hidráulica

Las tasas de carga hidráulica, incluyendo la recirculación, están en el rango de 15 a 117 m³/(m² día). Las tasas son normalmente mayores en plástico que en la roca. Cargas de 44 a 117 m³/(m² día) son valores normales para plástico.

Bajas cargas hidráulicas incrementan el tiempo de paso y la profundidad de la biomasa, mientras que altas cargas hidráulicas generan mayor cantidad de oxígeno para la película biológica del filtro.

Carga orgánica

La carga orgánica puede ser tan baja como 80 g DBO/m³ para filtros de baja carga, hasta más de

1 600 g DBO/m³ para un filtro de desbaste. Generalmente, cuando aumenta la carga orgánica, la eficiencia en tratamiento disminuye. Con las altas cargas orgánicas la película biológica crece; en estas condiciones se generan malos olores en el filtro. Los olores más fuertes se producen cuando el agua contiene sulfatos en alta concentración. Bajo condiciones anaerobias los sulfatos se transforman en sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico).

Ventilación

El oxígeno necesario para el metabolismo de los microorganismos es abastecido por el flujo de aire formado en el filtro, generalmente en forma natural. Cuando se requiere mayor cantidad de oxígeno (aire) se colocan ventiladores para forzar la entrada de aire al sistema.

Se requiere un diferencial de temperatura del orden de 4 °C entre la parte alta y la parte baja del filtro para obtener circulación suficiente para una concentración natural. El método más común de ventilación es por aeración natural. La ventilación natural se produce por convección, por difusión o por acción del viento. La convección es la fuerza primaria de la ventilación y es causada por la diferencia en densidad del aire. Cuando el aire del filtro es más frío y más húmedo que el aire del ambiente, es más pesado y crea un desplazamiento hacia abajo. Cuando el aire en el filtro es más caliente, dependiendo de la humedad relativa, puede ser más ligero que el aire del ambiente, creando un flujo hacia arriba (Ilustración 3.3). La difusión es el movimiento del aire de una región de concentración relativamente alta a otra de baja concentración (dentro del filtro). La circulación por difusión tiene poca importancia en filtros bien ventilados. El viento que sopla sobre un filtro puede crear turbulencia

Ilustración 3.2 Ventilación natural en filtro rociador



y provocar corrientes que afectan la circulación del aire. Esto también puede causar variaciones de presión que empujan el aire hacia arriba o hacia abajo o ambos, a través del filtro.

Arreglo de los filtros

Los filtros rociadores pueden ser operados en paralelo (una etapa) o en serie (dos etapas). En los filtros en dos etapas puede o no haber un sedimentador intermedio entre ambos filtros. Los filtros de una etapa se presentan en la mayoría de los sistemas de tratamiento por filtros rociadores.

En general, dos filtros operados en serie sin sedimentador intermedio no proporcionan mejor tratamiento que los mismos dos filtros en paralelo, debido a que la carga orgánica total y el tiempo de paso son los mismos. Un sistema de dos etapas con un sedimentador intermedio

para remover los sólidos generados en el primer filtro es utilizado para aguas residuales de alta concentración. También se utilizan para remoción de nutrientes. El primer filtro y el clarificador intermedio reducen la carga orgánica carbonácea, lo que permite que el segundo filtro desarrolle bacterias nitrificantes que remueven los nutrientes.

Distribución del gasto

El flujo del agua afluente debe distribuirse de manera uniforme (con la misma carga hidráulica) en todo el filtro para alcanzar mejores eficiencias de tratamiento. Para flujos bajos se puede aumentar la recirculación para prevenir cortos circuitos.

Algunos medios plásticos (módulos de flujo cruzado) redistribuyen el agua residual de tal manera que ayuda a prevenir los cortos circuitos.

Ilustración 3.3 Sistema de ventilación en el filtro

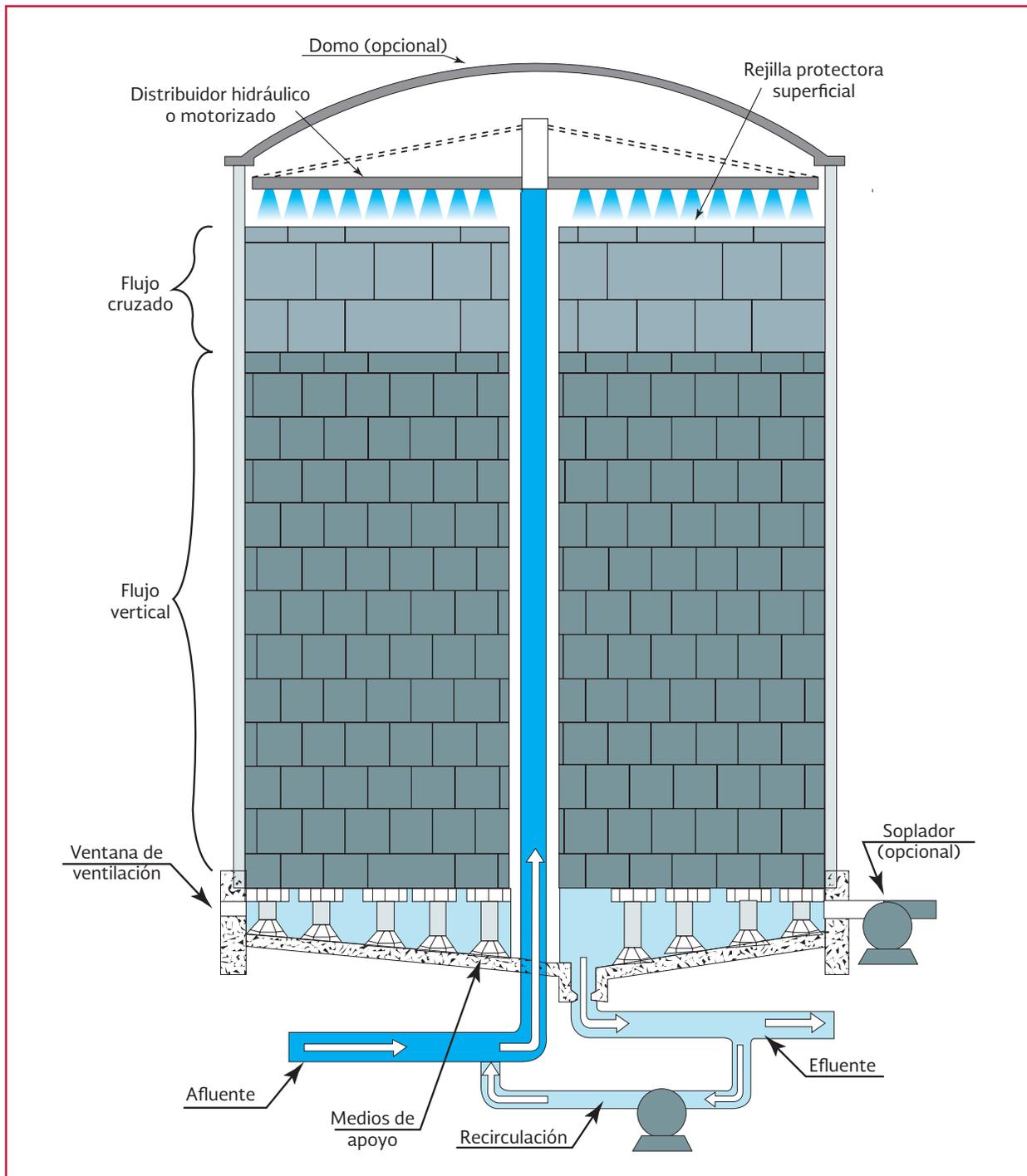


Ilustración 3.4 Distribución del gasto





4

OPERACIÓN DEL FILTRO

4.1. OPERACIÓN DEL DISTRIBUIDOR

La operación de la distribución del agua sobre el medio de soporte es el factor de operación más importante en los procesos biológicos de tratamiento por medio de filtros rociadores. Normalmente se realiza con brazos distribuidores que reciben el agua del cárcamo de bombeo y transferencia. Las bombas ubicadas en los cárcamos definen el gasto de entrada a los brazos, por lo que la variable más importante es la velocidad de giro de dichos brazos. Esta velocidad se regula mediante un sistema integrado por un motor y una rueda, independientemente del giro hidráulico del brazo, por tanto, es posible regular la velocidad de giro a voluntad del operador.

Normalmente el efluente del filtro rociador es recirculado a la misma unidad. El beneficio principal de la recirculación es incrementar la eficiencia de la humedad del sistema. El uso de la recirculación puede ser innecesario si la velocidad del distribuidor se reduce muy por debajo de velocidades convencionales. En los últimos 30 a 40 años se usaron velocidades rotacionales de 0.5 a 2 min/revolución con dos o cuatro brazos, y el filtro dosificaba cada 10 a 60 segundos. Investigaciones recientes y evidencias históricas indican que dis-

minuir la velocidad de los brazos distribuidores puede ser muy ventajoso en diversas situaciones. Estas ventajas fueron observadas por operadores e investigadores por más de 40 años, pero no fueron consideradas en el diseño hasta en los últimos años. Estudios de los años cuarentas y principios de los cincuentas demostraron que dosificaciones cada 30 a 55 min/revolución, contra la práctica convencional de 5 min/revolución, no solamente mejoraron el funcionamiento del filtro, sino que también se controló el espesor de la película biológica y disminuyeron las moscas en los filtros. Un trabajo en los años sesentas demostró que disminuyendo la velocidad del distribuidor se reducía el exceso de capa biológica, los malos olores y mejoraba la operación de filtros de medios plásticos.

Intensidad de dosificación instantánea (Spülkraft) SK

La intensidad de dosificación instantánea, conocida como concepto SK, se refiere al espesor de agua que pasa a través del medio filtrante. Se relaciona con la siguiente expresión:

$$SK = \frac{[(q+r)(1000 \frac{mm}{m})]}{[(a)(n)(60 \frac{min}{s})]} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

donde:

- SK = intensidad de dosificación instantánea de un brazo (mm/paso)
- $q + r$ = carga hidráulica promedio ($m^3/m^2 h$)
- a = número de brazos
- n = velocidad de rotación (r/min)

En plantas existentes el rango de operación va de 2 a 10 mm/paso, sin embargo, la aplicación de valores de 50 hasta 500 mm/paso es ahora considerada como práctica común.

Los ingenieros de diseño y operadores de 15 plantas investigadas observaron un mejor funcionamiento, una notable reducción de olores y una reducción de la película biológica que mejora el funcionamiento del filtro rociador.

Al inicio de la operación con altos valores de SK, (de 2 a 10 semanas) se produce mayor cantidad de sólidos anaerobios, difíciles de sedimentar. La Tabla 4.1 proporciona valores de diseño de SK recomendados de acuerdo con la carga orgánica afluente al filtro rociador.

Inicialmente se selecciona un valor de SK para calcular la velocidad de rotación de los brazos distribuidos y seleccionar el modo de operación, ya sea hidráulico o mecánico. La ventaja de los

sistemas mecánicos es que se puede graduar la velocidad de rotación, independientemente del gasto, con un motor de velocidad variable. Ya en la operación del filtro, se puede graduar la velocidad de rotación que ofrezca la mejor eficiencia del proceso para cada planta.

El diseño incluye dos velocidades de rotación: la primera es de operación normal, y la segunda se utiliza para hacer un lavado de la biomasa. En la Tabla 4.1 se encuentran los valores recomendados para SK de lavado. El lavado se recomienda una vez al día.

4.2. ARRANQUE DEL FILTRO

Es recomendable poner a funcionar los filtros rociadores nuevos (o los que han estado fuera de operación) durante el periodo comprendido entre los últimos días de junio y la primera semana de octubre, dependiendo de las condiciones climáticas locales. Esto se hace con el objeto de evitar el periodo de lluvias, los malos olores que se desprenden en verano y el bajo crecimiento bacteriano que se produce en el invierno. Una vez que se ha comprobado el buen funcionamiento tanto del equipo mecánico como eléctrico, incluyendo sistemas de bombeo, el poner a funcionar la unidad es sumamente simple: basta con abrir la válvula

Tabla 4.1 Tasas sugeridas de SK para brazos distribuidores

Carga de DBO	SK de diseño	SK de lavado
kg/m ³ d ³	mm/paso	mm/paso
0.25	10-100	>200
0.50	150-150	>200
1.00	30-200	>300
2.00	40-250	>400
3.00	60-300	>600
4.00	80-400	>800

a = (kg/m³ d) (62.4) = lb/d/1 000 cu ft

Fuente: *Design of municipal wastewater treatment plants*, volume I; 1992

Ilustración 4.1 Filtro rociador operando



que alimenta el filtro de aguas residuales y observar cuidadosamente el giro de los brazos del distribuidor, así como la correcta difusión del desecho sobre el medio filtrante.

Varias semanas deben de pasar para notar el desarrollo de la zooglea en el medio filtrante. Durante este periodo de crecimiento se producirá un efluente indeseable; sin embargo, este no debe clorarse si existe recirculación en el sistema.

Operación normal del filtro

La zooglea está constituida por hongos, protozoarios y algas, además de innumerables bacterias. Con el tiempo, esta película llega a crecer debido a que parte del sustrato se transforma en nuevas células y la zooglea se vuelve pesada y gruesa, la cual contiene materia orgánica muerta producida por la labor de los diversos organismos que viven en el medio filtrante. Estos residuos se desprenden de vez

Ilustración 4.2 a) Medio filtrante sin zooglea b) Medio filtrante con zooglea



en cuando, apareciendo en el líquido filtrado como humus. Este hecho se percibe en todos los filtros rociadores, especialmente en los localizados en regiones septentrionales durante la primavera.

Cuando la zooglea se encuentra muy crecida, el material acumulado dificulta la acción de las bacterias aeróbicas y reduce su eficiencia.

Entre las formas de vida macroscópica que se encuentra en los filtros rociadores cabe destacar un gran número de gusanos de tierra y acuáticos, lombrices de lodo, crustáceos y larvas de moscas.

En primavera, cuando se encuentra crecida la zooglea, se desprende junto con esta una cantidad considerable de gusanos; en verano, si los filtros no están correctamente operados, se desarrolla un sinnúmero de moscas del género *Psychoda*, llamadas moscas de los filtros. Estas moscas son tan pequeñas que pueden pasar a través de los mosquiteros que comúnmente se usan en las ventanas. No pican, pero molestan bastante a los ojos, nariz, boca y oídos de los operadores y vecinos cercanos. Pueden ser transportadas por el viento a distancias considerables, a pesar de que su radio de acción o desplazamiento es corto.

Las larvas de las moscas se desarrollan en un medio húmedo, pero no demasiado, y en consecuencia predominan más en los filtros de carga hidráulica lenta y normal alimentados intermitentemente que en los rápidos con dosificación continua.

La mosca *Psychoda* es un habitante natural de los filtros, su ciclo de vida varía de tres semanas (15 °C), a una semana (30 °C). Se alimenta de los lodos de aguas residuales y de la zooglea,

ayudando además al proceso de descomposición de la materia orgánica. Una cantidad excesiva de estas moscas indica que la vida biológica del filtro no está en equilibrio, debido posiblemente a una sobrecarga orgánica.

El control de la mosca en el filtro presenta muchas dificultades. Los adultos mueren con insecticida de uso frecuente tales como el DDT, el clordano, el lindano y otros, los cuales se han usado para eliminar plagas de un filtro infestado. Ninguno ha dado resultados enteramente satisfactorios y al parecer el uso de insecticidas ha ocasionado la aparición de especies resistentes de este insecto. Se ha comprobado que lo mejor es emplear insecticidas en rotación, pero este tratamiento es costoso y se necesita un cuidado extremo para no suministrar dosificaciones altas que aniquilen toda la biota del medio filtrante, la cual es necesaria y deseable en el filtro; o bien dosis muy bajas que provoquen moscas resistentes.

Como se mencionó, en los filtros de tasa rápida no hay tanto desarrollo de la mosca debido a que las larvas son arrastradas por la corriente de filtración junto con el desprendimiento de la zooglea. En los filtros de acción lenta o normal, las moscas se controlan por inundación o vaciamiento periódico, de acuerdo con el ciclo de vida de estos insectos.

Si el sistema de tratamiento consta de varias unidades filtrantes, el diseño debe contemplar la posibilidad de retirar de servicio una de ellas durante uno o dos días para inundarla o dejarla secar, de modo que el filtro opere en condiciones desfavorables para el desarrollo de la mosca.

A pesar de que cualquiera de las medidas mencionadas puede proporcionar un alivio tempo-

ral, la única solución permanente contra las molestias que causa la mosca *Phychoda* consiste en determinar las causas de su excesiva reproducción y entonces aplicar las debidas acciones correctivas según el caso.

Como la operación de un filtro rociador depende de la biota que en él se genere, es evidente que cuando empieza a funcionar un filtro no existe una población adecuada de organismos en el medio filtrante. La generación de una zooglea adecuada es indispensable no únicamente en unidades nuevas, sino en aquellas que por haber estado mucho tiempo sin funcionar han ocasionado la muerte de los organismos por falta de sustento y agua (Ilustración 4.3). Por lo anterior, debe evitarse que un filtro quede fuera de operación durante un periodo de tiempo muy grande.

4.3. ACTIVIDADES DE OPERACIÓN

Para controlar el buen funcionamiento del filtro es indispensable verificar diariamente la observación del proceso, analizar las aguas residuales que entran, así como el agua de recirculación y el efluente final.

Ilustración 4.3 Rearranque de filtro rociador, zooglea muerta



a)



b)

Un buen operador puede notar cambios en las unidades del proceso observando varios factores físicos, tales como variación en los caudales, niveles en los tanques, formación de espuma en el clarificador, apariencia del efluente, la forma de riego de las boquillas, la velocidad de rotación del distribuidor, el calor del medio filtrante y los olores que indican cambios en la forma en que se desarrolla el proceso biológico de tratamiento. Los cambios de cualquiera de estos factores requieren una investigación para identificar la causa y determinar la acción correctiva a seguir.

Una vez que se ha establecido un adecuado crecimiento de la zooglea se considera que la planta se encuentra en un estado normal de operación y se requiere de una pequeña rutina operacional para controlar el proceso.

4.3.1. PROBLEMAS DE OPERACIÓN

Aun cuando el proceso de filtros rociadores se considera uno de los tratamientos secundarios más libre de fallas, existen algunos problemas potenciales de fallas operativas.

La detección y corrección de los problemas incluye tres pasos:

- Localizar el problema
- Identificar la causa del problema
- Aplicar las medidas correctivas apropiadas

Hay que ser cuidadoso en la implantación de las medidas correctivas, para evitar que lo que aparentemente es un problema simple se convierta en síntoma de uno más complejo.

Debe considerarse que el filtro rociador no es el único elemento del tratamiento, sino que es una parte del sistema integral del saneamiento donde cada parte está interrelacionada con las otras para producir un resultado exitoso.

Cuando hay problemas operativos, el operador debe examinar lo siguiente:

- El manual de operación
- El diseño y flexibilidad de operación de la planta
- Los resultados de la operación los días anteriores y la bitácora
- La posibilidad de que el problema pueda ser causado por ácidos, álcalis, aceite y otros materiales tóxicos presentes en residuos industriales

Adelante se detallan los problemas más comunes y las medidas correctivas a implementar.

Enlagunamientos

Posibles causas:

- a) La piedra u otro material del medio filtrante pueden ser muy pequeños o de tamaño no suficientemente uniforme

- b) La piedra se intemperiza por efecto de temperaturas extremas, produciendo finos que colmatan los huecos
- c) Los sedimentadores primarios operan mal, resultando un paso excesivo de SS en el afluente al filtro
- d) Excesivo desprendimiento de cultivo biológico tapando los vacíos del medio filtrante
- e) La carga orgánica sobre el filtro es excesiva para la carga hidráulica

Prevención y eliminación del problema:

- a) Rastrille o remueva las rocas de la superficie del filtro. No debe usarse equipo pesado sobre el medio filtrante
- b) Lavar la superficie del filtro con chorros a presión
- c) Parar el distribuidor sobre el área inundada y permitir un flujo continuo de agua negra
- d) Aplicar cloro en dosis altas (5 mg/L de cloro libre en el afluente) por periodos de varias horas cada semana, preferentemente en la madrugada, cuando se presentan bajos gastos para disminuir los consumos de cloro. El cloro es particularmente efectivo en el control de crecimiento de hongos con dosis tan bajas como 1 mg/L
- e) Dejar el filtro fuera de servicio por un día o más para que se seque. Esto puede hacerse si hay suficiente flexibilidad en la planta como para dejar fuera de servicio una unidad
- f) Si el filtro puede inundarse, dejarlo 24 horas lleno
- g) Reemplazar el medio filtrante si las otras medidas fallan. Puede ser más económico reemplazar un medio filtrante viejo que limpiarlo

Moscas de los filtros

La mosca de los filtros (*Psychoda*) es una molestia frecuentemente asociada con la operación de los filtros. Por su tamaño puede pasar a través de mallas protectoras de ventanas y meterse en los ojos, boca y fosas nasales de las personas en contacto. Su rango de vuelo natural es de pocos metros (60-180 m) pero puede ser transportada más lejos por el viento. Su ciclo de vida varía de 22 días a 60 °C a 7 días a 29 °C. La mosca se desarrolla en medios que alternadamente están húmedos y secos.

Preparación y remedio:

- a) Aplicar el agua al filtro continuamente, no intermitentemente
- b) Remover crecimientos biológicos excesivos por procedimientos similares a los recomendados para evitar enlagnamiento del filtro
- c) Inundar el filtro por 24 horas cada semana o cada dos semanas. Para que el pro-

cedimiento sea efectivo el filtro deberá inundarse a intervalos tales que eviten se complete el ciclo de vida de la mosca

- d) Lavar vigorosamente la parte inferior expuesta del filtro. Esto se logra ajustando los extremos de los brazos para rociar el muro. Si los muros se mantienen mojados, la mosca no puede vivir
- e) Mantener toda la planta limpia evitando la formación de sitios donde viva la mosca
- f) Clorar las aguas negras aplicadas al filtro para producir cloro residual de 0.5 mg/L a intervalos suficientemente frecuentes para evitar la terminación del ciclo de vida de las moscas (intervalos de 1 a 2 semanas)
- g) Aplicar insecticidas a intervalos de 4 a 6 semanas. La aplicación de insecticidas no tiene efecto apreciable en la operación normal del filtro. Frecuentemente las moscas desarrollan inmunidad a ciertos insecticidas, si eso pasa, probar otro hasta encontrar uno efectivo, considerando los efectos del insecticida en las aguas receptoras antes de decidir su aplicación

Ilustración 4.4 Mosca de los filtros



a)



b)

Olores

El proceso biológico de los filtros rociadores es básicamente aerobio, por lo que no deberían existir problemas serios con los olores producidos. La presencia de olores a “huevo podrido” es indicio de condiciones anaerobias.

Prevención y remedios:

- a) Mantener condiciones aeróbicas en todas las unidades, incluyendo tanques de sedimentación y sistemas de alcantarillado
- b) Reducir acumulaciones de lodos y crecimientos biológicos
- c) Clorar el afluente al filtro por periodos cortos, preferiblemente cuando el gasto es bajo
- d) Recircular a los filtros
- e) Mantener buenas condiciones de limpieza en la planta
- f) Limpiar los sistemas de drenaje de obstrucciones
- g) Limpiar las ventilas del filtro
- h) Aumentar ventilación con aire forzado

en el sistema de drenaje

- i) Reducir cargas orgánicas poco usuales muy concentradas que producen acumulaciones severas de sólidos en el filtro o causan enlagueamientos

Taponamiento de los orificios de los brazos distribuidores

Causas: el rociado no uniforme sobre el medio filtrante puede causar taponamientos reduciendo el área a la cual se aplica el agua con la consiguiente baja de eficiencia.

Prevención y remedio:

- a) Limpiar todos los orificios y lavar a presión los tubos ocasionalmente
- b) Mejorar la eficiencia de los primeros para remover grasas y sólidos suspendidos
- c) Mantener carga hidráulica apropiada sobre el filtro
- d) Lubricar el distribuidor rotatorio de acuerdo con las instrucciones del fabricante

Ilustración 4.5 Distribución deficiente del gasto



a)



b)

Caracoles y musgos

La presencia severa de cualquiera de ellos o su combinación, puede ocasionar enlagonamiento. Los caracoles en número limitado no afectan la operación del filtro, pero a causa de su naturaleza prolífica, pueden crecer considerablemente. Los organismos no son problema pero las conchas de los animales muertos pueden dañar el distribuidor, bomba y aun crear problemas en los digestores.

Prevención y remedio:

- a) Clorar energéticamente (10 mg/L o más) para producir un cloro residual de 0.5 a 1 mg/L en el efluente del filtro para varias horas
- b) Limpiar el filtro usando la máxima capacidad de recirculación

4.3.2. CASO DE EVALUACIÓN DE FILTROS ROCIADORES

De un estudio de más de 100 plantas de filtros rociadores, realizado por encargo de la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos, publicado en julio de 1978, se obtuvieron los siguientes hechos y conclusiones.

4.3.2.1. Capacidad del proceso

- a) Las plantas de filtros rociadores, en su más simple combinación de procesos unitarios: cribado, desarenación, sedimentación y el filtro rociador con su sedimentador, son capaces de propor-

cionar un alto grado de tratamiento cuando se tiene una atención continua y razonable

- b) Las plantas de filtros rociadores de un solo paso son capaces de remover un promedio de DBO y sólidos suspendidos de 83 por ciento, con un máximo de 90 por ciento y mínimo de 60 por ciento. La probabilidad de remover más de 84 por ciento es 90 por ciento
- c) La remoción de DBO en una planta de doble etapa, es mucho mejor que la obtenida en filtros de una sola etapa. El valor más probable de 20 plantas estudiadas fue de 90 por ciento de remoción, con 25 mg/L de DBO en el agua tratada
- d) La remoción de sólidos suspendidos en las plantas de doble etapa no mejora la obtenida con planta de una sola etapa, para ello se cuenta con el tratamiento de filtración

4.3.2.2. Factores que afectan el funcionamiento

- a) Las cargas hidráulicas y orgánicas de 76 plantas indicaron que el grado de remoción de DBO y SS parece ser independiente de la magnitud de las cargas dentro del rango estudiado tanto para filtros de una o doble etapa
Rango de carga hidráulica: 4 a 13 m³/(m² d) para plantas de una etapa. Para doble etapa la carga hidráulica fue mayor de ligera a media
La carga orgánica fue de 9.6 a 16 kg/m³
- b) Temperaturas bajas
Es de esperarse que durante el invierno se reduzcan las eficiencias de la planta

c) Recirculación

No se encontró una correlación entre el gasto circulado a los filtros y el aumento de remoción de DBO y SS

Las plantas sin recirculación o muy bajos gastos trabajarán tan bien como aquellas con recirculación hasta de 3 veces el gasto del afluente

d) Tipo de medio filtrante

Tanto los medios de roca y como los medios plásticos proporcionan niveles simila-

res de tratamiento, para iguales cargas por unidad de volumen de medio

e) Cargas superficiales en los sedimentadores

La información detallada de 23 plantas indicó una remoción similar en sedimentadores secundarios de DBO y SS en plantas con cargas superficiales de 40 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \text{ d})$ y más altas, comparadas con plantas que tenían sedimentadores secundarios

5

MANTENIMIENTO

5.1. MANTENIMIENTO

El tratamiento de aguas residuales dentro de una comunidad es parte fundamental en el control y prevención de la contaminación del agua y por otro lado constituye una alternativa de reúso muy importante, sobre todo en localidades donde el recurso agua es escaso. El mantenimiento y la operación de una planta de tratamiento, dentro de este esquema general, es indispensable para velar por su calidad y eficiencia. La mayoría de las responsabilidades del operador dentro de una planta de tratamiento están enfocadas al buen funcionamiento de la misma, para lograr un efluente que cumpla con los requisitos establecidos. Para ello, deberá llevar a cabo un mantenimiento eficiente de la planta. El mantenimiento mecánico del equipo es de suma importancia para lograr que la planta mantenga una eficiencia óptima. En este caso, el proveedor del equipo dará la información específica del mantenimiento de su equipo, la cual deberá ser revisada con mucho detenimiento por el operador y cualquier duda aclararla de inmediato. El mantenimiento de edificios y áreas libres permite que la planta ofrezca una imagen agradable, tanto al operador como a los visitantes. También forma

parte del programa el mantenimiento de tanques y estructuras, ya que su buen estado es de vital importancia para ampliar la vida útil de una planta de tratamiento.

Importancia de un programa de mantenimiento

El mantenimiento es la labor de reparar o restaurar un equipo o instalación, para lograr los siguientes objetivos:

- Obtener un eficiente y seguro rendimiento de la planta
- Prolongar su vida útil
- Reducir los costos

Para ello, se deben realizar las siguientes actividades:

- Mantener la planta limpia y ordenada
- Realizar un programa de revisión rutinaria del equipo
- Establecer un programa de lubricación
- Llevar los datos y registros de los equipos
- Realizar las reparaciones y cambios necesarios
- Cuidar las medidas de seguridad

5.1.1. CLASES DE MANTENIMIENTO

Mantenimiento preventivo

Es el conjunto de inspecciones e intervenciones periódicas y debidamente programadas, para evitar desperfectos y prolongar la vida del equipo

Ejemplo. Programar y ejecutar el chequeo anual de un motor eléctrico, de acuerdo a normas técnicas específicas.

Actividades a realizar: limpieza de los embobinados y cambio de rodamientos.

Objetivo: evitar que el motor se queme al presentarse suciedad, aceite y humedad en sus embobinados, así como su operación con cojinetes dañados.

Mantenimiento correctivo

Corresponde al conjunto de intervenciones no programadas, para efectuar reparaciones o cambios de emergencia, con el objeto de regresar el equipo o instalación a su estado operacional que tenía antes de detectarse la falla que lo sacó de operación.

Ejemplo: Embobinar el motor eléctrico de un equipo de bombeo, produciéndose con ello un paro forzoso e imprevisto.

Actividad a realizar: transportar el motor hasta un taller especializado para su reparación.

Objetivo: reparar el motor quemado a la brevedad posible, para reanudar el bombeo.

5.1.2. COMPONENTES DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

El programa de mantenimiento de equipos, sistemas y edificios de una planta de tratamiento tiene como objetivo principal la prevención de una falla o la prolongación de su vida útil, obteniendo de esta manera economía en su operación.

Para lograr la implantación y desarrollo de un programa de mantenimiento preventivo, es necesario consultar al proveedor del equipo para hacer el diseño más adecuado del programa, el cual estará constituido por las formas de control y los recursos necesarios para llevarlo a cabo.

5.2. ESTRATEGIAS DE CONTROL

Una forma adecuada de llevar a cabo un mantenimiento preventivo es por medio de registros. El operador no debe dejar a la memoria cuándo ejecutará cada función de mantenimiento preventivo. Las tarjetas registradoras del servicio del equipo son fáciles de organizar y requieren poco tiempo de su revisión diaria.

La tarjeta de servicio del equipo debe llenarse para cada equipo de la planta y deberá contener los siguientes aspectos:

1. Nombre del equipo
2. Lista del servicio de mantenimiento requerido con la frecuencia de realización
3. Descripción del tipo de servicio que se efectuará

La tarjeta de registro de servicio contendrá los siguientes aspectos con la firma del operador que realizó el servicio: fecha y trabajo realizado. La tarjeta de servicio del equipo nos dice qué hacer y cuándo; mientras que la tarjeta de registro del equipo nos dice que se hizo y cuándo se hizo.

Necesidades de recursos

Para poder llevar a cabo las labores de mantenimiento establecidas previamente en el programa, es necesario contar con recursos suficientes, como son: personal necesario, repuestos, herramientas, instrumentos de medida, etc.

Personal de mantenimiento

El recurso humano es un aspecto de primordial importancia para cumplir con las labores de mantenimiento en forma eficiente. Para ello se deberá contar con la cantidad de personal necesario y la capacidad y calidad del mismo. Un buen equipo de mantenimiento estará formado por un ingeniero, los técnicos mecánicos y los operadores, que son quienes realizan las actividades rutinarias como limpieza de equipo, ajuste de los prensa-estopas, etcétera.

5.2.1. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Las partes móviles de una máquina o equipo siempre requieren mantenimiento. El mantenimiento puede ser requerido para reemplazar o reparar partes rotas que no han sido lubricadas o ajustadas adecuadamente. Sin embargo, es mucho más fácil aplicar un mantenimiento preventivo, esto es, mantener las partes del equipo lubricadas y ajus-

tadas en forma adecuada, para prevenir roturas o desgaste innecesario. Se presenta una idea de las actividades que deben realizarse para llevar a cabo un programa de mantenimiento preventivo de los principales componentes de los equipos sujetos a mantenimiento; asimismo, se darán algunas recomendaciones del mantenimiento de edificios, áreas verdes, tanques y estructuras.

Planeación del mantenimiento del filtro

La planeación del mantenimiento variará de planta a planta dependiendo de las características únicas de diseño y equipo instalado.

Resumen de las tareas más comunes e importantes del mantenimiento:

- Distribuidores rotatorios
- Distribuidores de boquilla fijos
- Medio filtrante
- Sistemas de drenaje
- Estructura de contención de medios
- Bombas de transferencia
- Clarificador secundario
- Equipos y accesorios

Distribuidores rotatorios

Observe diariamente el distribuidor. Asegúrese que la rotación sea suave y que las boquillas del aerosol no están tapadas.

Lubricar los baleros del soporte principal y cualquier guía o baleros estabilizadores según las instrucciones del fabricante. Cambiar periódicamente el lubricante, normalmente dos veces al año. Si los baleros son lubricados con aceite, verificar el nivel de aceite, semanalmente drenar lo condensado y agregar aceite cuando se necesite.

Mida la velocidad rotacional del distribuidor en una o más velocidades de flujo. Registrar y clasificar los resultados para comparaciones futuras. Un cambio en la velocidad de flujo indica baleros afectados.

Enjuagar mensualmente los brazos del distribuidor abriendo las puertas cortadas o reborde ciego para remover la basura. Drenar los brazos si se para en tiempo de frío para prevenir daños por las heladas.

Limpiar semanalmente los orificios con corriente de agua a alta presión o piezas de gancho de alambre.

Mantener las tuberías de ventilación de los brazos del distribuidor libre de hielo, grasa, y sólidos. Limpiar de la misma manera los orificios de los brazos del distribuidor. Las bolsas de aire se formarán si las ventilas están tapadas. También se formarán en cargas hidráulicas irregulares en el filtro, en cargas no uniformes y usos excesivos de los baleros del soporte del distribuidor.

Asegúrese que los brazos del distribuidor estén nivelados. Para mantener el nivel, el alambre de tipo vertical debería ser utilizado durante el verano y retirar durante el invierno para ajustar la varilla empataada tipo alambre. Mantener los brazos en la orientación horizontal correcta mediante el ajuste de la varilla empataada de forma horizontal.

Verificar periódicamente los sellos del distribuidor y, si es pertinente, la tubería del afluente del conjunto de expansión del distribuidor para evitar fugas. Remplace si es necesario. Cuando remplace, verifique las placas de sello en uso y remplace si el desgaste es excesivo. Algunos sellos deberían mantenerse sumergidos incluso si

el filtro está parado o si su vida será severamente acortada.

Remover el hielo de los brazos del distribuidor. La acumulación de hielo provoca cargas no uniformes y reduce la vida del balero principal.

Pintar el distribuidor según lo necesario para protegerlo de la corrosión. Cubrir los baleros cuando se aplican chorros de arena para protegerlos de la contaminación. Verificar el aceite drenándolo un poco a través un abastecedor de nylon después del chorro de arena. Pulir los brazos del distribuidor para proteger los baleros si se soldó el distribuidor y se detuvo el mecanismo de la transmisión del panel eléctrico principal. Ajustar las piezas de sobreflujo del brazo secundario y la cazuela de la distribución de aguas residuales en el filtro como sea necesario.

Distribuidores de boquilla fijos

Observar diariamente el diseño de los aerosoles. Destape las boquillas bloqueadas incrementando la carga hidráulica o manualmente. Enjuague mensualmente los cabezales y los laterales, abriendo a tope las placas. Ajuste la boquilla liberando la tensión como se requiera.

Medio filtrante

Observar diariamente las condiciones de la superficie del medio filtrante. Remueva las hojas, sólidos grandes y plásticos, bolas de grasa, pedazos de madera rotos o medios plásticos y otros desechos. Si la acumulación es evidente, encontrar y eliminar la causa. Mantener las tuberías de ventilación abiertas, remover la basura acumulada. Almacene los medios plásticos extra fuera de los rayos del sol para prevenir daños, debido a los rayos ultravioleta. Observe los me-

dios para asentamientos. Después serán instalados, asentados los medios de su propio peso y el peso de la biopelícula y el agua atribuida a esta superficie. La instalación debería ser uniforme y se debería estabilizar después de pocas semanas. La instalación total es típicamente menos que 1 ft (0.3 m) para medios plásticos aleatorios, menos para medios de hoja plástica, y casi cero para roca. Si la instalación no es uniforme o excesiva, remueva alguno de los medios para la inspección.

Sistemas de drenaje

Lavar periódicamente con agua si es posible. Remover la basura de los canales del efluente.

Estructura de contención de medios

Mantenga el aerosol contra la pared interior del filtro para prevenir la infiltración de moscas al filtro y para prevenir la acumulación de hielo en el invierno.

Realizar un buen mantenimiento. Mantener la fibra de vidrio, concreto, o acero fuera de las paredes limpias y pintadas, si es pertinente. Conservar corto el pasto alrededor de las estructuras y remover lo desyerbado y arbustos altos para ayudar a prevenir moscas en el filtro u otra infestación de insectos. Recuerde, el uso de insecticidas alrededor de las unidades de tratamiento puede resultar en efectos desfavorables en la calidad del agua o de las unidades de tratamiento biológico.

Bombas del filtro

Verificar diariamente que los empaques o sellos mecánicos estén libres de fugas. Ajustar o reemplazar como sea necesario. Lubricar bomba y baleros del motor de acuerdo a las instrucciones

del fabricante. Mantener el motor de la bomba tan limpio y seco como sea posible. Verificar periódicamente los manguillos del eje, anillos usados, e impulsores por usar; reparar o reemplazar como sea necesario. Realice el mantenimiento de reductores de velocidad, coples, otras partes y equipos de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Sedimentador secundario

Lubricar los baleros del motor de la transmisión, engranaje del reductor de velocidad, cadenas de la transmisión, las catarinas y baleros del soporte principal para el equipo de recolección de lodos de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Limpiar diariamente las natas y fuentes de grasa. Limpiar semanalmente las canaletas del efluente y mamparas. Pintar o proteger el equipo de la corrosión, según lo requerido.

Equipo auxiliar

Mantener las tuberías, válvulas, sopladores de aire forzado y otros equipos auxiliares de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Distribuidor de baleros

El distribuidor de baleros generalmente se encuentra en un baño de aceite. El aceite, especificado generalmente por el fabricante, es seleccionado para prevenir la oxidación y corrosión, además de minimizar la fricción. Como el nivel y la condición del aceite son cruciales para la vida del equipo, necesitan una verificación periódica de acuerdo con las recomendaciones del fabricante (generalmente semanal). Un procedimiento común es checar el aceite drenándolo a un contenedor limpio. Si el aceite está limpio y libre de agua, este es regresado a la unidad. Si el

aceite esta sucio, este es drenado y rellenado con una mezcla de aproximadamente una parte de aceite y tres partes de solvente (como el querose-no). Entonces el distribuidor es operado durante unos minutos, la mezcla es drenada, y el distri-buidor es rellenado con el aceite limpio.

Si se encuentra agua en el aceite o las juntas en los tapones mecánicos requieren reemplazo.

Seguridad en la planta

Todas las plantas de tratamiento, sin importar el tamaño, deberán contar con un programa que incluya los elementos básicos para la prevención de accidentes. Un programa de seguridad es una forma administrativa que trata de asignar res-ponsabilidades para la prevención de accidentes y lograr en esta forma un mejor rendimiento en la planta. La seguridad de una planta debe ser incluida desde el diseño del proceso y dentro de cada operación de producción y mantenimiento.

La prevención de accidentes solo se logra con un buen control del ambiente de trabajo y del cum-plimiento del empleado. El jefe de la planta será el responsable de implementar el programa de seguridad, el cual debe asegurar las responsabi-lidades de supervisión, entrenamiento y deberá mantener las condiciones seguras de trabajo. El programa de seguridad también deberá incluir actividades de servicio médico y primeros au-xilios, así como un registro de accidentes y la investigación de estos.

Recomendaciones de seguridad

Cualquier equipo con partes móviles y eléctricas deberá ser considerado potencialmente peligro-so. Es muy importante que al parar un equipo el botón de arranque sea etiquetado, donde se diga

el trabajo que se está realizando o el porqué del paro.

- a) Un equipo con movimiento lento aparente-mente no es peligroso, tal es el caso de un sistema de rastras, donde la velocidad con la que gira el brazo es muy baja. Sin embargo, las partes móviles del equipo, como son, corona dentada, cadena, po-leas de la banda y bandas, pueden causar serios accidentes si se meten las manos o brazos, por lo que las guardas de seguri-dad siempre deben estar colocados sobre estas partes del equipo
- b) La instalación eléctrica debe ser revisa-da periódicamente para corregir fallas que pueden ser peligrosas, tales como conexiones flojas, cables pelados, etc. Si es necesario reparar alguna falla de un equipo, no olvide poner una etiqueta de advertencia
- c) Se debe tener mucho cuidado cuando se trabaja en áreas resbalosas, pues cual-quier falla puede ser motivo de un serio accidente. Los derrames de aceites y gra-sas deben ser limpiados inmediateamente. Si las cubiertas sobre los biodiscos abarcan el suficiente espacio que cubren los posibles andenes, la humedad que se condensa en las superficies de las cubier-tas puede crear espacios resbalosos
- d) Siempre que se trabaje con aguas resi-duales se deberá tener cuidado por el contagio de infecciones y enfermeda-des, sobre todo si el agua es de origen doméstico. Después de realizar cual-quier trabajo sobre algún equipo de la planta, es indispensable lavarse las manos, igualmente antes de fumar o comer. El operador deberá llevar, como regla general, una higiene personal es-

tricta, para evitar su contagio y el de otras personas que convivan con él

Al trabajar con distribuidores se puede proceder solo después de que los brazos han sido detenidos y bloqueados, y el interruptor de la electricidad de la bomba del distribuidor ha sido

desconectado y bloqueado el panel de la electricidad. Si es posible, evite caminar en medio del filtro porque puede estar resbaloso.

La rejilla de plástico es a menudo colocada como una superficie para caminar y proveer accesos seguros al distribuidor.



6

PROBLEMAS COMUNES Y ACCIONES CORRECTIVAS

Se pueden enumerar y clasificar los problemas que comúnmente se encuentran en los sistemas de filtros rociadores, se identifica la posible causa y se lleva a cabo la acción correctiva, la dificultad que se presenta es identificar adecuadamente la

causa del problema, de otra manera se pueden llevar a cabo acciones correctivas que no resolverán el problema. La Tabla 6.1 clasifica los problemas operacionales de los filtros rociadores, incluyendo los sedimentadores secundarios.

Tabla 6.1 Problemas y acciones correctivas para el proceso de filtros rociadores incluyendo efectos en el sedimentador secundario

Problema/posible causa	Acción correctiva
Operación	
Incremento de sólidos suspendidos en el efluente del clarificador secundario	
Sobrecarga hidráulica en el clarificador	Comprobar que el clarificador no se desborde por la superficie. Si es posible, reduzca la carga superficial del clarificador a menos de 900 gal/día sq ft (35 m ³ /m ² día) reduciendo la recirculación o poniendo en servicio un clarificador adicional
Desnitrificación en clarificador	Aumente el gasto de retiro del lodo del clarificador. Incremente la carga en el filtro rociador para prevenir la nitrificación. Desnate el lodo flotante de la superficie entera del clarificador o use aerosoles de agua para liberar gas nitrógeno del lodo
Lodazales excesivos en el biofiltro debido a los cambios en las aguas residuales	Aumente el gasto de retiro del lodo del clarificador. Compruebe en las aguas residuales si hay presencia de materiales tóxicos, cambios en el pH, temperatura, BOD, u otros componentes. Identificar y eliminar la fuente que causa trastorno en las aguas residuales. Haga cumplir el uso ordinario del alcantarillado
Mal funcionamiento del equipo en el clarificador secundario	Verificar el equipo para ver si está roto el sistema de recolección de lodo y repararlo o remplazarlo
Corto circuito en el flujo a través del clarificador secundario	Nivelar los vertederos del efluente. Instalar la salida del tubo central del clarificador, mamparas, mamparas-vertederos del efluente, u otras mamparas para prevenir el corto circuito
Incremento en el efluente DBO del clarificador secundario	
Aumento de sólidos suspendidos en el efluente	Ver acciones correctivas para Aumento de sólidos suspendidos en el efluente del clarificador secundario

Tabla 6.1 Problemas y acciones correctivas para el proceso de filtros rociadores incluyendo efectos en el sedimentador secundario (continuación)

Problema/posible causa	Acción correctiva
Cargas orgánicas excesivas en el filtro	<p>Calcule la carga</p> <p>Reduzca la carga poniendo más biofiltros en servicio</p> <p>Incremente la eliminación de BOD en tanques de sedimentación primaria usando todos los tanques disponibles y minimizando el almacenaje de tanques de lodo primario</p> <p>Elimine los flujos de sobrenadantes dentro de la planta</p> <p>Amplíe la planta</p>
Crecimiento biológico indeseable en el medio	<p>Realice un examen microscópico del crecimiento biológico</p> <p>Trate el filtro con cloro para matar el crecimiento indeseable</p>
Olores desagradables del filtro	
Carga orgánica excesiva causada por la descomposición anaeróbica en el filtro	<p>Calcule la carga</p> <p>Reduzca la carga poniendo más biofiltros en servicio</p> <p>Incremente el retiro de BOD en tanques de sedimentación primaria usando todos los tanques disponibles y minimizando el almacenaje de tanques de lodo primario</p> <p>Conserve las condiciones aeróbicas en las unidades de tratamiento del sistema</p> <p>Haga cumplir la legislación de la disposición de la basura industrial, si la industria es fuente de exceso de carga</p> <p>Amplíe la planta</p>
Ventilación insuficiente	<p>Aumente la carga hidráulica para eliminar el exceso de crecimiento biológico</p> <p>Remover la basura de los canales del efluente del filtro y de los sistemas de drenaje</p> <p>Remover la basura de los medios del filtro</p> <p>Destapar las tuberías de ventilación</p> <p>Reducir las cargas hidráulicas si los sistemas de drenaje están inundados</p> <p>Instalar ventiladores para inducir la transferencia en el filtro</p> <p>Compruebe taponamientos en el filtro causados por la biomasa en los medios</p>
Acumulación en medios filtrantes	
Crecimiento biológico excesivo	<p>Reduzca la carga orgánica</p> <p>Incrementar la carga hidráulica</p> <p>Regar la superficie del filtro con agua con corriente de alta presión</p> <p>Clorar el afluente al filtro por varias horas. Manteniendo de 1 a 2 mg/L de cloro residual en el filtro</p> <p>Inundar el filtro por 24 horas</p> <p>Cerrar el filtro hasta que los medios estén secos</p> <p>Haga cumplir la legislación de la descarga industrial, si la industria es fuente de carga excesiva</p>
Medios pobres	Reemplace los medios
Escaso mantenimiento	Remover la basura de la superficie del filtro, tuberías de ventilación, sistemas de drenaje, y canales del efluente
Filtro con exceso de moscas (<i>Psychoda</i>)	
Humedad insuficiente en el medio filtrante (un ambiente continuamente húmedo no es conducente a la crianza de moscas en el filtro y una tasa alta de humedad lavará los huevos de mosca del filtro)	<p>Aumente la carga hidráulica</p> <p>Destape los orificios o boca de los aerosoles</p> <p>Utilice la abertura del orificio en el extremo rotando los brazos del distribuidor para rociar las paredes de filtro</p>

Tabla 6.1 Problemas y acciones correctivas para el proceso de filtros rociadores incluyendo efectos en el sedimentador secundario (continuación)

Problema/posible causa	Acción correctiva
El ambiente propicia la crianza de la mosca en el filtro	Inundar el filtro por varias horas cada semana durante la temporada de moscas Clorar el filtro por varias horas cada semana durante la temporada de moscas Mantener de 1 a 2 mg/L de cloro residual en el filtro
Escaso mantenimiento de áreas verdes	Mantener el área alrededor del filtro cegada Quite las malas hierbas y los arbustos
Formación de hielo	
Baja temperatura en las aguas residuales	Disminuir la recirculación Remueva el hielo de los orificios, tubos de salida y brazos del distribuidor por medio de agua con corriente de alta presión Reducir el número de filtros en servicio, proporcione los límites del efluente que pueda encontrar Reduzca el tiempo de retención en tratamientos previos y unidades de tratamiento primario Construir barrera rompevientos (árboles)
Mantenimiento	
Rotación del distribuidor a velocidad lenta o paros	
Flujo insuficiente para dar vuelta al distribuidor	Incrementar la carga hidráulica
Tapar los brazos o los orificios	Enjuague los brazos abriendo las placas. Enjuague los orificios Remover los sólidos del afluente de agua residual
Tubería de ventilación tapada	Remover el material de la tubería de ventilación con un gancho o por chorro de agua Remover los sólidos del afluente de agua residual
Daño en el balero principal	Reemplazar el balero
Los brazos del distribuidor no están nivelados	Ajustar el alambre individual con ataduras de ganchos
Los ganchos del distribuidor golpean los medios	Nivelar los medios Remover algún medio
Suciedad en el aceite lubricador del balero principal	
El sello del balero está gastado	Reemplace el sello.
El sello de tornamesa está desgastado	Reemplace el sello Examine la placa de sello y reemplace si está gastada
Se condensa regularmente lo no drenado o se mantiene bajo el nivel de aceite	Verificar el nivel de aceite, drene el condensado, y rellene si es necesario
Fuga de agua en la base del distribuidor	
Sello de tornamesa gastado	Reemplazar el sello
Fuga en la junta de expansión entre el distribuidor y la tubería del efluente	Reparar o reemplazar la junta
Medios superiores quebrados	
Material ajeno	Limpiar con agua limpia a corriente de alta presión Sacar la basura con el alambre o el gancho Desmonte y limpie
Paro en el colector de lodo del clarificador secundario	
Exceso en el ajuste de sobrecarga del esfuerzo de torsión	Reducir el manto de lodos, retirando el exceso de lodos Verificar si la porción desnatadora del colector está colgada en el canal de espuma. Liberar y reparar o ajustar la desnatadora Drenar el tanque y remover los objetos ajenos

Tabla 6.1 Problemas y acciones correctivas para el proceso de filtros rociadores incluyendo efectos en el sedimentador secundario (continuación)

Problema/posible causa	Acción correctiva
Pérdida de energía	Reajuste el interruptor de circuito de la unidad de transmisión, si está disparado. Después, identifique el motivo y corríjalo
Falla en la unidad de transmisión	<p>Reajuste la unidad de transmisión, centro de control del motor, o interruptores del circuito principal de la planta como sea necesario, en lo que la energía es restaurada en la planta, después de la interrupción</p> <p>Verificar el motor de la transmisión para drenados, si son excesivamente comunes, determine la razón</p> <p>Verificar la sobrecarga transmitida por la transmisión del motor. Reemplácelo si está dañado o si está más pequeño de lo normal.</p> <p>Verifique las cadenas la transmisión y los alfileres de corte. Reemplace si es necesario y use la medida apropiada o un daño podría ocurrir</p> <p>Verifique y reemplace aparejos gastados, coples, reductores de velocidad, o baleros, según sea necesario. Lubricar y proveer mantenimiento preventivo para las unidades según las instrucciones del fabricante</p>
Las bombas de recirculación liberan un flujo insuficiente	
Cabezal excesivo	<p>Abra las válvulas cerradas o estranguladas</p> <p>Desconecte los brazos del distribuidor, cabezales, y laterales</p> <p>Destape los tubos de salida y orificios del distribuidor</p> <p>Destape las líneas de ventilación del distribuidor</p>
Mal funcionamiento de la bomba	<p>Ajuste o reemplace los paquetes o sellos mecánicos</p> <p>Ajustar el impulsor</p> <p>Reemplace o renueve las mangas del eje gastado</p> <p>Verificar el impulsor de sólidos usados y enredados. Remover los desechos. Reemplace el impulsor si es necesario</p> <p>Verificar la bomba para saber si hay aire encerrado. Libere el aire atrapado</p> <p>Lubricar los baleros según las instrucciones del fabricante</p> <p>Reemplace los baleros gastados</p>
Falla del motor impulsor de la bomba	<p>Lubricar los baleros según las instrucciones del fabricante</p> <p>Reemplace los baleros gastados</p> <p>Mantener el motor tan limpio y seco como sea posible</p> <p>Bomba y motor desalineado. Verificar la vibración y la alineación</p> <p>Rediseñar si es necesario</p> <p>Quema de bobinas. Rebobinar o reemplazar el motor</p> <p>Verificar la transmisión del motor de drenados excesivos. Si el drenado actual es excesivo, determine causa.</p> <p>Verifique la sobrecarga de los relevadores de la transmisión del motor. Reemplácelo si está dañado o si está más pequeño de lo normal</p> <p>Reajuste el motor de la transmisión, centro de control del motor, o interruptores del circuito principal de la planta, después de que el origen del tropiezo es identificado y corregido mientras la energía es restaurada, después de la interrupción</p>
El clarificador de lodos del colector secundario se detuvo	
Ajuste de la sobrecarga al torque	<p>Reducir el manto de lodos; retirar el exceso de lodo</p> <p>Compruebe si parte del brazo desnatador del colector contiene residuos en la charola. Libere, repare o ajuste el brazo desnatador.</p> <p>Drene el estanque y extraiga los objetos extraños</p>

Tabla 6.1 Problemas y acciones correctivas para el proceso de filtros rociadores incluyendo efectos en el sedimentador secundario (continuación)

Problema/posible causa	Acción correctiva
Pérdida de fuerza	<p>Restablecer el interruptor en caso de dispararse. Después, identifique el motivo y corríjalo</p> <p>Restablecer la unidad de accionamiento, el centro de control de motores, o el interruptor principal de la planta como sea necesario, restablezca la alimentación de la planta después de la interrupción</p> <p>Comprobar el motor en caso de consumo excesivo de corriente. Si la corriente es excesiva, determine la razón</p> <p>Comprobar los relevadores de accionamiento tras la sobrecarga del motor, cambiar si está dañado o es insuficiente.</p>
La falta de accionamiento de la unidad	<p>Compruebe las cadenas de transmisión y pasadores de seguridad. Reemplace según sea necesario y corte al tamaño adecuado según sea necesario</p> <p>Comprobar y sustituir los engranajes desgastados, acoplamientos, reductores de velocidad, o cojinetes según sea necesario. Lubricar y proporcionar mantenimiento preventivo a las unidades según las instrucciones del fabricante</p>



7

SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA

Algunas de las impurezas del agua, por su tamaño y densidad, pueden separarse por efecto de la fuerza de gravedad, es decir, el peso de las partículas es tal que estas se depositarán en el fondo del recipiente en el que se encuentra el agua.

La cantidad de sólidos contenidos en las aguas residuales es generalmente muy pequeña, menos de 0.1 por ciento en peso, pero es la fracción que presenta el mayor problema para su tratamiento y disposición. Los sólidos pueden estar contenidos en las aguas disueltas, flotando o en suspensión. La sedimentación se emplea para eliminar la fracción de sólidos sedimentables de los sólidos en suspensión (60 por ciento de los sólidos que son perceptibles a simple vista en el agua).

Se consideran sólidos sedimentables a las partículas que por su tamaño y peso sedimentan en una hora. Los sólidos sedimentables de las aguas residuales domésticas están constituidos aproximadamente de 75 por ciento de sólidos orgánicos y 25 por ciento de inorgánicos. Generalmente, la cantidad de sólidos sedimentables se expresa en mililitros de sólido por litro de agua residual, pero también se da en partes por millón, en peso.

Se le da el nombre de sedimentador a la estructura que sirve para reducir la velocidad de las aguas negras de manera que puedan sedimentar los sólidos. A continuación se analizará el proceso de sedimentación y se describirán los principales tipos de sedimentadores.

7.1. PROCESO DE SEDIMENTACIÓN

Los diferentes tipos de sólidos en suspensión presentan características de decantación significativamente distintas. El desarrollo y aplicación de la sedimentación para la clarificación de un agua o agua residual debe, por tanto, estar basada en el entendimiento del proceso y de las variables que pueden modificar su eficiencia. Las partículas de una suspensión decantan en formas distintas, según la concentración de la suspensión y las características de las partículas. Fitch (1958) describió cuatro tipos distintos de sedimentación que reflejan el efecto de la concentración de la suspensión y las propiedades floculantes de las partículas. La clarificación clase-1 es la decantación de una suspensión diluida que tiene poca o nula tendencia a flocular. Se denomina clarificación clase-2 a la decantación de una suspensión diluida de par-

tículas flocculantes. Cuando las partículas están suficientemente cerca unas de otras, las fuerzas entre partículas son capaces de mantenerlas en posiciones relativamente fijas con respecto unas de otras. Como resultado, las partículas sedimentan como una masa y no como partículas discretas. A este tipo de clarificación se le designa como decantación en bloque. Cuando las partículas entran en contacto unas con otras, la estructura resultante de la masa compacta ejerce una compresión sobre las capas inferiores, a esta acción se le denomina compresión.

Se han desarrollado múltiples ecuaciones que permiten describir el fenómeno de sedimentación de partículas, de entre las cuales destacan la ley de Stokes y la ley de Newton, las desarrolladas por Fair, Geyer y Okum y las de Hansen y Camp.

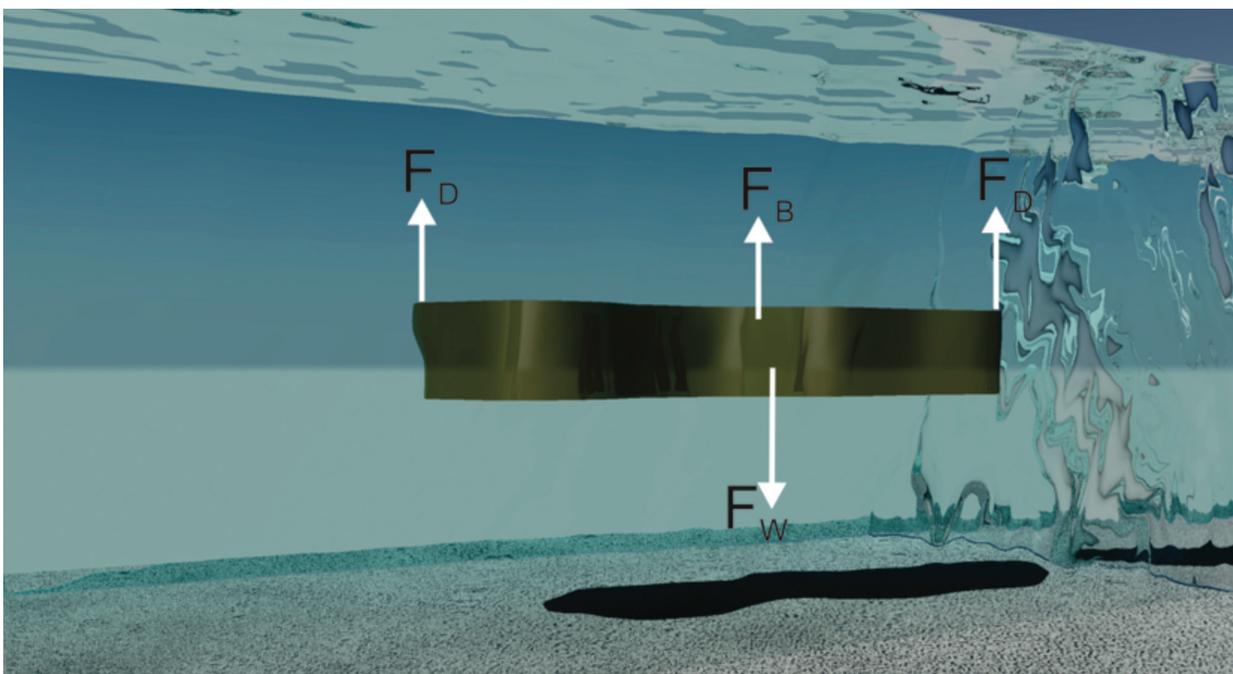
La decantación de una partícula discreta no flocculante puede describirse por las ecuaciones de la mecánica clásica. En este caso, la presencia de otras partículas no influye en la sedimentación y

esta solo es función de las propiedades del fluido y de la partícula.

La Ilustración 7.1 muestra la decantación por gravedad de una partícula. La fuerza de la gravedad es F_w , la fuerza de empuje del fluido es F_B y F_D es la fuerza de arrastre. Esta última es función de la aspereza, tamaño, forma y velocidad del fluido.

Los sólidos en suspensión de las aguas residuales domésticas e industriales, en general, no pueden describirse como partículas discretas de peso específico conocido. Estos sólidos comprenden una amplia gama de partículas de diferentes tamaños y características superficiales. En un agua residual, las partículas más grandes decantan con velocidades mayores que las partículas más finas. El viento, perturbaciones hidráulicas y corrientes convectivas, entre otros factores, producen efectos de turbulencia dentro del fluido y, por tanto, aumentan el contacto de partículas. Si cualesquiera de las partículas que

Ilustración 7.1 Diagrama de cuerpo libre para la decantación de una partícula



interaccionan tienen características aglomerantes, se provocará un crecimiento de las partículas individuales a mayores tamaños. Cuanto mayor sea la profundidad del tanque, mayor es la oportunidad de contacto entre partículas. Por tanto, para la clarificación clase-2, la eliminación depende de la profundidad del tanque así como de las propiedades del fluido y partículas.

En la sedimentación simple de las aguas negras se reduce 50 a 60 por ciento la materia en suspensión y la materia orgánica se reduce 30 a 35 por ciento.

Además de la función primaria de los sedimentadores que consiste en eliminar la materia decantable en suspensión, en el diseño se debe considerar un sistema que permita recoger y descargar los lodos que se generan. Un tanque podría proporcionar suficiente capacidad para la clarificación, pero no efectuar una eliminación adecuada de los lodos, en cuyo caso su eficiencia decrece.

Otra función importante de un sedimentador es concentrar los lodos, de manera que se eliminen con el mayor contenido de sólidos posible para facilitar el posterior manejo, tratamiento y disposición.

Una fracción de la materia en suspensión de las aguas residuales está compuesta por sólidos de baja densidad que flotan más que decantar. A estos sólidos se les asigna el nombre de espumas o natas. Otros líquidos insolubles como las grasas o aceites tienden a flotar cuando se reduce la tur-

bulencia del flujo. En estos casos, el sedimentador debe estar provisto de un sistema que permita recoger y evacuar las espumas, grasas y aceites.

Generalmente, se recomienda que el diseño del tanque se base sobre los resultados de los experimentos decantación-velocidad; sin embargo, en un buen número de ocasiones los sistemas de tratamiento de aguas residuales se proyectan en forma conjunta con la fuente que generará las descargas de aguas residuales, por lo que los experimentos no pueden efectuarse. Por ello es útil conocer las velocidades de decantación de diferentes sólidos. En la Tabla 7.1 se muestra la velocidad de sedimentación y profundidad en sedimentadores secundarios.

7.2. TIPOS DE SEDIMENTADORES

Los tipos de tanques de sedimentación empleados en las plantas de tratamiento son rectangulares o circulares con dispositivos mecánicos para la recolección de lodos. 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 deberá disponer de dos o más tanques con objeto de que el proceso permanezca en funcionamiento mientras que 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.

Tabla 7.1 Valores de cálculo recomendados para la carga hidráulica superficial y la profundidad del lado recto en sedimentadores secundarios

Fuente	Recomendaciones y comentarios
EPA, Manual de diseño. Remoción de sólidos suspendidos	<p>Filtros rociadores: 16 a 24 m³/(m² d) como flujo promedio, de 41 a 49 m³/(m² d) como flujo máximo, la profundidad del agua debe ser de 3.00-3.70 m</p> <p>Lodos activados (excluyendo aireación extendida): 16 a 33 m³/(m² d) de flujo promedio, de 41 a 49 m³/(m² d) de flujo máximo, la profundidad del agua es de 3.70 a 4.60 m</p> <p>Aireación prolongada: de 8 a 16 m³/(m² d) como caudal medio, 33 m³/(m² d) como flujo máximo, la profundidad del agua es de 3.70 a 4.60 metros. Lodos activados con decantación primaria: 16 a 33 m³/(m² d) como flujo promedio, de 41 a 49 m³/(m² d) como flujo máximo, la profundidad del agua de 3.70 a 4.60 m</p>
Diez estados estándar (1978)	<p>La carga hidráulica de los clarificadores finales se basa en el caudal horario pico y no podrá superar:</p> <p>Convencional, aeración por etapas, estabilización-contacto, etapa carbonácea y etapa separada de nitrificación: 49 m³/(m² d). Aireación extendida: 41 m³/(m² d). Nitrificación separada: 33 m³/(m² d). Profundidad del agua 3.70 m o más (Se debe considerar la homogenización del fluido para reducir cargas hidráulicas pico)</p> <p>Se puede esperar una carga hidráulica superficial de 33 m³/(m² d) basado en el flujo promedio a resultar en una buena separación de líquido y sólidos. El ingeniero diseñador también debe comprobar las cargas máximas hidráulicas que se impondrán en el tanque de decantación.</p> <p>Se recomienda que la profundidad del agua en el tanque varíe de 3.00 a 4.60 m</p>
Manual técnico del ejército de los Estados Unidos Americanos	<p>La carga hidráulica superficial recomendada depende del caudal de la planta</p> <p>El rango va de 4 m³/(m² d) (caudal medio) y 8 m³/(m² d) (flujo máximo) con caudales de 0 a 0.0004 m³/s a 24 m³/(m² d) (caudal medio) y 33 m³/(m² d) (flujo máximo) con caudales superiores a 0.43 m³/segundo. La profundidad del agua depende de las dimensiones del tanque, pero puede variar desde 2.40 m hasta 4.30 m</p>
Manual de diseño naval de instalaciones	<p>El tamaño de las unidades de acuerdo a criterios que requieren mayor superficie</p> <p>Caudal máximo de 24 horas, todas las unidades en servicio: 33 m³/(m² d), flujo máximo con todas las unidades en servicio: 49 m³/(m² d), flujo máximo con una unidad fuera de servicio: 61 m³/(m² d), profundidad del agua para clarificadores lodos activados: 3.70 m de profundidad, profundidad para otros procesos: 3.00 m</p>

Los equipos principales en estos tanques son las rastras giratorias con puente fijo o móvil. La función principal de las rastras es empujar el lodo del fondo del sedimentador de manera concéntrica hasta alcanzar una tolva ubicada en el centro del tanque (a un lado de la columna central), de donde son extraídos en forma hidráulica o por bombeo.

La operación es muy sencilla, generalmente son automáticos; se debe tener cuidado en el arranque del sedimentador, pues si hay lodos acumulados puede presentarse una rotura de la armadura. El desnatador trabaja con un mecanismo automático, se debe verificar que el motorreductor esté funcionando normalmente y que el desnatador no se atore. Realmente la operación

importante de los sedimentadores es el control de la extracción o purga de lodos para evitar problemas sépticos y crecimiento o desaparición del manto de lodos.

La rastra colectora de lodos de tipo giratorio se considera un excelente mecanismo para remover lodos primarios, secundarios y para remoción de cal u otros químicos en tratamientos terciarios. Ofrece la ventaja de ser un mecanismo simple en funcionamiento, y muy fácil en cuanto a operación y mantenimiento.

Sedimentadores primarios y secundarios

Los sedimentadores realizan la función de remover sólidos suspendidos; si la unidad de proceso está antes del tratamiento secundario, se denominan sedimentadores primarios; si son parte del proceso de tratamiento biológico, se conocen como sedimentadores secundarios. Los sedimentadores se clasifican por su forma en: circulares, cuadrados, rectangulares, hexago-

nales y octagonales. Los más comunes son los circulares y los rectangulares.

Sedimentadores rectangulares

Los sedimentadores rectangulares se usan más en plantas de tratamiento de aguas residuales grandes. Muchos ingenieros proyectistas los consideran económicos por sus paredes comunes a otros tanques y por la conveniencia de tener una galería de bombeo en un extremo del tanque. Los detalles de diseño incluyen: profundidad, orificios de entrada, mamparas, desnatadores, rastras, canaletas, andadores, etc. Este número de variables hace que exista una gran variedad en el diseño de los tanques.

La mayor parte de estos tanques tienen una profundidad de 2 m, pero para lodos activados esta profundidad es mayor. Para prevenir cortos circuitos se tienen anchos mínimos de 3 m y relación largo-ancho mínima de 3:1 (Tabla 7.2).

Tabla 7.2 Relaciones geométricas para unidades rectangulares

Longitud : ancho	3:1 o más
Ancho : profundidad	1:1 a 2.25:1

Ilustración 7.2 Relaciones geométricas para unidades rectangulares



La alimentación se hace en un extremo y la recolección de agua sedimentada en el extremo opuesto. El lodo que se deposita en el fondo del sedimentador es acarreado por medio de la raspa a un extremo donde se han construido tolvas y se extrae por medios mecánicos o hidráulicos.

Los mecanismos colectores de lodos para tanques rectangulares pueden ser de dos tipos: rastras de cadenas o puentes viajeros.

Así, los sólidos sedimentables son eliminados por medio de transportadores de cadena (rastras), o por medio de puentes viajeros, que es el método más común en Europa. La experiencia ha demostrado que el mecanismo para mover el puente con las rastras requiere menos mantenimiento que los transportadores de cadena.

Las rastras mueven el lodo por un canal central, que conduce a una tolva al final del canal. Este depósito puede almacenar el lodo que se recolecta en un periodo de 6 a 12 horas y, en casos

extremos, hasta 24 horas. La purga de lodos se efectúa por lo menos una vez al día para evitar que se presenten condiciones de anaerobiosis.

Las espumas se colectan al final del tanque por medio de brazos desnatadores que se mueven sobre la superficie del líquido. La espuma es empujada por los brazos hasta un punto en el que es atrapada por los deflectores antes de su eliminación. La nata también puede ser arrastrada mediante rociado con agua a presión y recogerse empujada manualmente por medio de una placa inclinada, o bien, puede eliminarse hidráulica o mecánicamente. Son varios los medios conocidos para llevarlo a buen término.

Rastra de cadenas

Las rastras de cadenas (Ilustración 7.3 y Ilustración 7.4) constan de una serie de rastras cuyos extremos se fijan a dos cadenas paralelas que se mueven mediante un sistema de catarinas con un motorreductor. Este movimiento es lento

Ilustración 7.3 Sedimentador rectangular con rastras de cadenas con recolección de natas

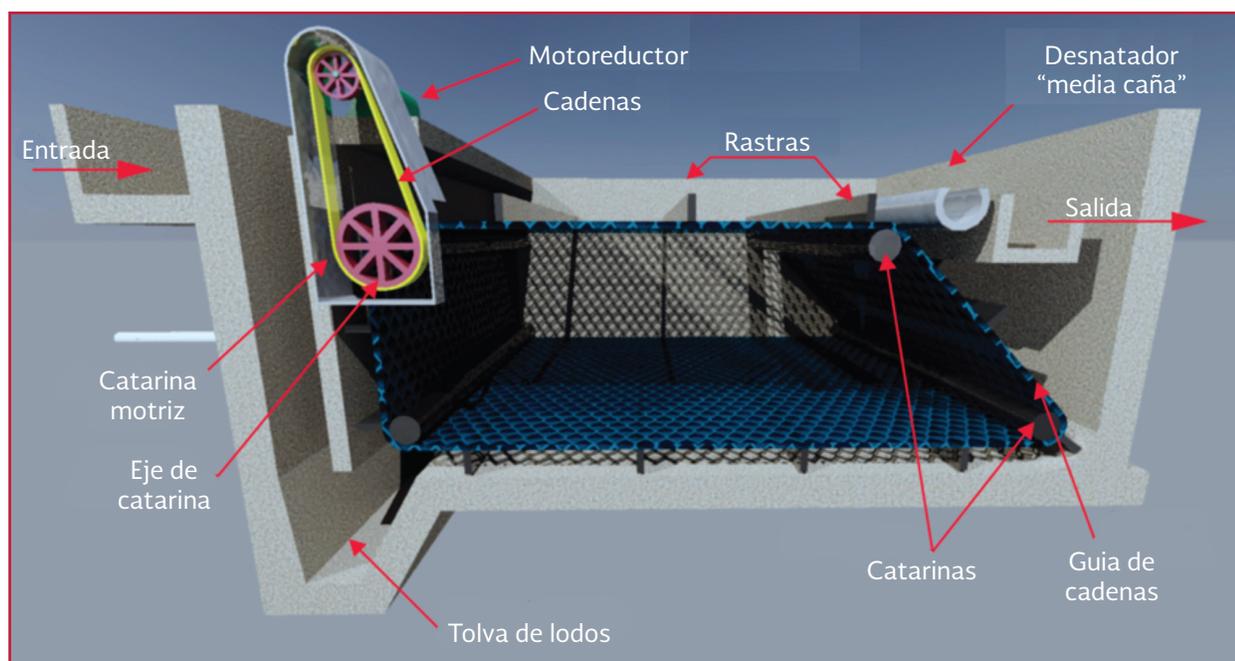
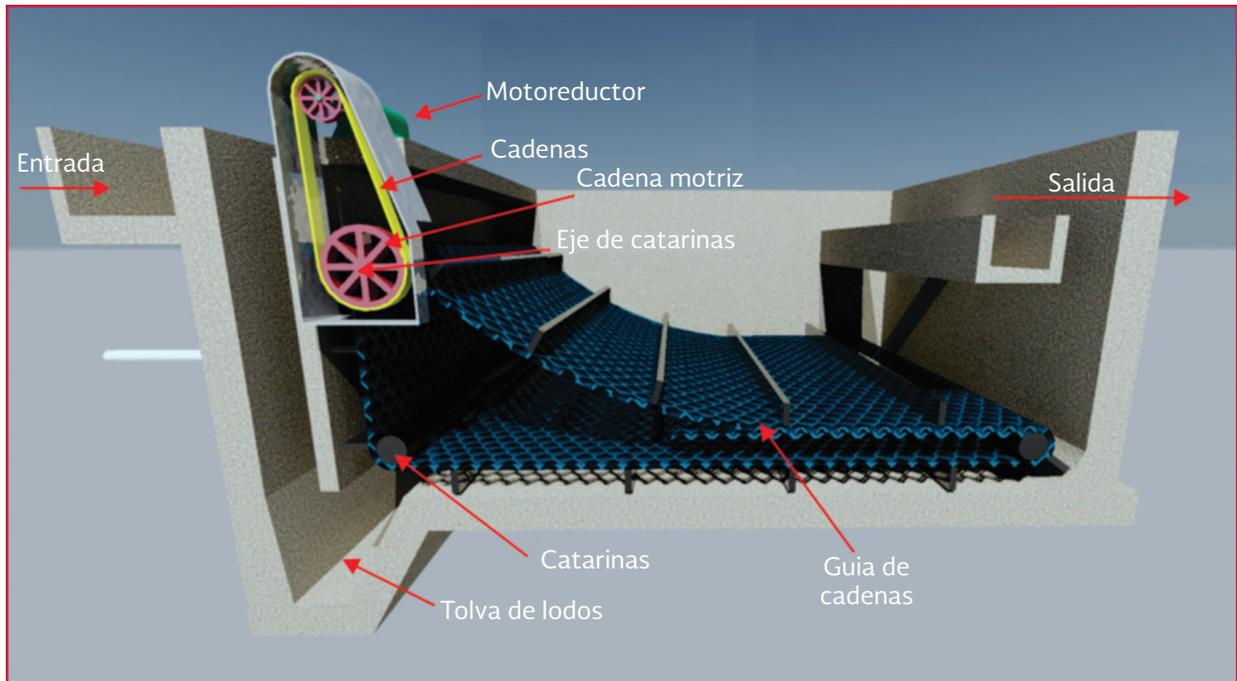


Ilustración 7.4 Sedimentador rectangular con rastras de cadenas sin remoción de natas



para evitar la turbulencia del lodo depositado en el fondo mientras se arrastra hacia las tolvas colocadas en un extremo del sedimentador. En sedimentadores primarios y en algunos secundarios, las rastras también sirven como desnataadores, llevando en su viaje de regreso las natas hacia el extremo opuesto de las tolvas. Dichas natas generalmente son colectadas en una media caña de operación manual y retiradas del sedimentador. Una desventaja es su difícil mantenimiento, ya que, cuando es requerido, se debe vaciar el sedimentador. Comparado con otros sistemas, el mantenimiento de rastras, cadenas, catarinas, motorreductores, flechas y baleros es más serio y, por tanto, de mayor duración y tal vez también desfavorable en costos.

Sedimentadores circulares

Las unidades circulares son usadas como sedimentadores primarios o secundarios y también para el espesamiento de los lodos. En este tipo de tanque el modelo de flujo es radial. Para ge-

nerar este modelo, el agua residual se introduce por el centro o por la periferia del tanque (Ilustración 7.5). Los diámetros de las unidades circulares varían en un amplio rango (3 a 60 m). La profundidad del agua en el tanque cuando se emplea como sedimentador primario es de 2 a 3 m, y cuando se usa como secundario y espesador, el intervalo es de 3 a 4 m o más. La pendiente del piso más común es de 1:12, para un sedimentador primario o secundario con mecanismo de rastras. Cuando se usa el tanque como espesador, la pendiente es de 1:12 o más. En el centro del tanque, la profundidad es mayor ya que se trata de un depósito para la compactación de los lodos, con un volumen suficiente para almacenar los lodos recolectados en periodos de 2 a 4 horas. La remoción de los lodos en los tanques circulares es por rastras o succión. Las unidades provistas con rastras son empleadas principalmente para el manejo de lodo primario en tanques con diámetros menores de 15 metros. Las unidades con succionadores se utilizan para manejar grandes

Ilustración 7.5 Sedimentadores circulares



cantidades de lodo. Las rastras o succionadores son instalados y soportados en un pilar o puente. El mecanismo por puentes se emplea en tanques con diámetros menores de 15 m, mientras que el de pilares se utiliza para diámetros mayores. El uso de mecanismos en los tanques de sedimentación final es necesario para prever condiciones adversas en la operación, así como la presencia de material flotante en el efluente. Los desnatadores y desespumadores en los tanques de sedimentación colectan las natas y espuma en forma radial a lo largo de la periferia y las depositan en canales para su disgregación mediante la adición de agua. El desnatador o desespumador se mueve

de acuerdo con el mecanismo para la recolección de los lodos (Ilustración 7.6).

Puentes viajeros

Los puentes viajeros están equipados con una sola rastra que puede ser nivelada. El puente se mueve hacia adelante y hacia atrás sobre rieles colocados en ambos lados del sedimentador. El mecanismo funciona de ida para extraer lodos del fondo y de vuelta como desnatador. El puente viajero con rastra (Ilustración 7.7) o con mecanismo de succión fue desarrollado para resolver problemas de mantenimiento, como los mencio-

Ilustración 7.6 Charola de natas



Ilustración 7.7 Puentes viajeros.



nados para rastras con cadenas. No requieren que el sedimentador se vacíe para su mantenimiento o reparación.

Los puentes viajeros con rastra raras veces se utilizan en plantas de lodos activados; los puentes viajeros con sistema de succión son más comunes.

Configuración del sistema

Los tanques de sedimentación pueden ser primarios o secundarios dependiendo de la función que realicen y el lugar donde se ubiquen. La geometría del tanque es importante, su rendimiento está relacionado con las partes que lo componen. Un buen diseño se basa en el conocimiento de la hidráulica.

Es necesario tener presente que el tamaño del sedimentador es función del caudal y de las velocidades de decantación de las partículas; sin embargo, el equipo disponible para la recolección y eliminación de lodos puede condicionar las dimensiones. En el caso de los sedimentadores, el tiempo de retención hidráulico no es el paráme-

tro de diseño de mayor importancia; sin embargo, en la operación de sistemas de tratamiento biológico de tipo aerobio se requiere mantener una cantidad de microorganismos en el reactor biológico y para ello se recircula una cantidad de los lodos retenidos en el sedimentador que trata su efluente. En este caso es recomendable no exceder un tiempo de retención hidráulico de 3.5 horas, ya que de otra manera los microorganismos pierden su actividad por la falta de oxígeno.

7.3. PROBLEMAS COMUNES Y ACCIONES CORRECTIVAS

Se anexa la Tabla 7.3 para facilitar la identificación de las causas probables de problemas encontrados en los sedimentadores secundarios y sus posibles soluciones apoyadas por la verificación física de la unidad o monitoreo de algunos parámetros. De igual manera se proporciona la guía de mantenimiento en la Tabla 7.4, para los sedimentadores rectangulares con sistemas de recolección de lodos y desnatadores de cadenas y catarinas.

Tabla 7.3 Guía de problemas y acciones correctivas para sedimentación

Indicadores / observaciones	Causa probable	Verificación o monitoreo	Soluciones
Lodo flotante	Lodo descompuesto en el tanque Rastras con desgaste o dañadas Taponamiento en la línea de lodos Daño o ausencia de las mamparas de entrada	Inspeccionar las rastras Nitratos en efluente Salidas de la bomba de lodos Mamparas	Remover los lodos con frecuencia o a una velocidad más alta Reparar o reemplazar como sea necesario Lavar o limpiar línea Reparar o reemplazar
Aguas residuales negras con olores sépticos o lodos	Colectores de lodos gastados o dañados Incorrecta remoción de lodos de los ciclos de bombeo Inadecuado pretratamiento de desechos industriales orgánicos Descomposición de las aguas residuales en el sistema Taponamiento en la línea de recolección de lodos	Inspeccionar los colectores de lodos Densidad del lodo Prácticas de pretratamiento Salidas de la bomba de lodos Muestreo aleatorio de camiones para transporte de lodos Revisar diariamente la operación	Reparar o reemplazar como sea necesario Incrementar la frecuencia y la duración de los ciclos de las bombas hasta que baje a un valor recomendable Desechos preaerados Tener pretratamiento industrial Reducir o postergar el retiro hasta mejorar la calidad Limpiar la línea Regular o limitar el sitio de disposición Incrementar el tiempo de circulación o la circulación continua
Exceso de nata	Remoción inadecuada frecuente Banda de neopreno gastada o dañada Alineación inadecuada del desnatador Profundidad inadecuada de las mamparas para las natas	Velocidad de remoción de la nata Desechos del afluente Bandas de neopreno Alineación Mampara de derivación de la nata	Remover frecuentemente la nata Limitar las contribuciones de los desechos industriales Limpiar o reparar las bandas de neopreno Ajustar la alineación Incrementar la profundidad de las mamparas
Lodo difícil de remover de las tolvas.	Arena excesiva, arcilla u otro material fácil de compactar. Velocidad baja en las líneas de extracción. Tubería o bomba obstruida.	Operación en el sistema de remoción de arena. Velocidad de remoción de lodos.	Mejorar la operación de las unidades de remoción de arena Incrementar la velocidad en las líneas de extracción de lodos Verificar la capacidad de las bombas Destapar las tuberías y bombear lodos con mayor frecuencia
Bajo contenido de sólidos en los lodos.	Sobrecarga hidráulica. Corto circuito a través de los tanques. Sobrebombeo de lodos.	Gasto afluente. Uso de trazadores. Frecuencia y duración de los ciclos de bombeo de lodos; concentración de sólidos suspendidos.	Mejorar la distribución de flujo en todos los tanques (Ver corto circuitos) Reducir frecuencia y duración de ciclos de bombeo
Corto circuito.	Vertedores desnivelados. Mamparas de entrada dañadas o perdidas.	Nivelación de vertedores. Mamparas dañadas.	Cambiar o nivelar vertedores Reparar o reemplazar mamparas

Tabla 7.3 Guía de problemas y acciones correctivas para sedimentación (continuación)

Indicadores / observaciones	Causa probable	Verificación o monitoreo	Soluciones
Cambio de flujos.	Programación inadecuada de las bombas.	Ciclo de bombas.	Modificar ciclo de bombeo
Sedimentación excesiva en el canal de entrada	Velocidad demasiado baja	Velocidad	Incrementar la velocidad o agitar con aire o agua para prevenir la descomposición de la materia orgánica
Baja remoción de sólidos suspendidos	Sobrecarga hidráulica Corto circuito Prácticas inadecuadas de remoción de lodos Flujos de recirculación Desechos industriales Corrientes de velocidad debidas al viento o a la temperatura	Gasto Ver corto circuito Observar la duración del bombeo y los niveles de lodo Registros de calidad y cantidad Muestreo del afluente Registrar el viento y la temperatura del agua residual	Ver corto circuito Bombeo frecuente y consistente Eliminar desechos industriales que modifiquen la sedimentación Eliminar flujos de tormenta, instalar barreras rompevientos
Corrosión excesiva	Aguas sépticas	Color y olor de aguas residuales	Pintar o cubrir con pinturas anticorrosivas
Indicadores/observaciones		Soluciones	
Exceso de espuma		Mover el sistema de recolección de espuma lejos de la salida Bajar el nivel de la charola desnatadora	
Lodo difícil de remover de la tolva debido a la arena excesiva		Instalar la cámara desarenadora o eliminar las fuentes de arena entrantes al sistema	
Corto circuito a través del tanque que impide la remoción de sólidos		Modificar el diseño hidráulico e instalar mamparas apropiadas para dispersar el flujo y reducir las velocidades	
Daños frecuentes en los engranes y catarinas debido al exceso de arena		Instalar la cámara desarenadora	
Remoción inadecuada de cargas de grasa		Instalar equipo de flotación o equipo para evacuar grasas	
Condiciones sépticas resultantes de las sobrecargas		Desviar o proveer alternativas de disposición en otras unidades de proceso de los sobrenadantes que son normalmente recirculados	
Corrosión excesiva debido a aguas residuales sépticas		Recubrir todas las superficies con la pintura adecuada u otro recubrimiento	
Pobre remoción de la espuma debido al viento		Instalar una barrera de viento para proteger los tanques. Modificar el sistema de recolección de acuerdo a la dirección del viento	
Agua residual séptica		Mejoras hidráulicas de los sistemas de recolección para reducir la acumulación de sólidos	

Tabla 7.4 Guía para el mantenimiento de sedimentadores

Indicadores / observaciones	Causa probable	Verificación o monitoreo	Soluciones
Operación errática del mecanismo colector de lodos	Catarinas rotas, sistema dañado Trapos y basura atrapados en el sistema colector Excesiva acumulación de lodos Programa de mantenimiento preventivo inadecuado	Catarinas y sistema colector Sistema colector Sondear el fondo del tanque	Reparar o reemplazar las partes dañadas Remover trapos y basura Incrementar la frecuencia de bombeo de lodos Programar inspección anual del tanque
Cadenas rotas y falla frecuente de engranes	Tamaño incorrecto de engranes y mala alineación de brazos desnatadores Formación de hielo en muros y superficies Excesiva carga de lodos sobre las catarinas Programa de mantenimiento preventivo inadecuado	Tamaño de engranes y alineación de brazos desnatadores Inspeccionar muros y superficies Carga de lodos	Realinear brazos y cambiar engranes Remover o romper la formación de hielo Operar el sistema colector por periodos mayores o remover el lodo con mayor frecuencia Drenado anual para la inspección del tanque
Corrosión excesiva	Aguas residuales sépticas	Color y olor del agua residual	Utilizar pintura y cubiertas anticorrosivas
Ruido de las cadenas	Partes móviles rozan con partes estáticas La cadena no está fija en el engrane Pérdida de cadena Falta de lubricación Ensamble inadecuado y desalineado Partes desgastadas	Alineación Lubricación Alineación y ensamble	Tensar y alinear las cadenas Remover material que interfiera con el funcionamiento Reemplazar con partes correctas Ajustar la cadena con la tensión recomendada Lubricar correctamente Corregir la alineación y ensamblado del mecanismo Reemplazar baleros o cadenas desgastadas Invertir las catarinas antes de reemplazar
Desgaste excesivo de cadenas	Falta de lubricación Partes desalineadas o pérdidas	Lubricación Alineación	Lubricación adecuada Alineación y tensión del sistema completo
Las cadenas brincan los engranes	La cadena no corresponde al engrane Desgaste de cadena o engrane Pérdida de cadena Alineación		Reemplace cadena o engrane Reemplace la cadena Invierta o reemplace los engranes Tensión Alinear catarinas y cadenas
Cadenas rígidas	Falta de lubricación Corrosión Cadenas desalineadas o mal ensambladas Desgaste de cadenas o engranes	Lubricación Alineación y ensamblado	Lubricación adecuada Limpiar y lubricar Alinear correctamente y ensamblar el mecanismo Reemplazar cadenas Invertir o reemplazar engranes

Tabla 7.4 Guía para el mantenimiento de sedimentadores (continuación)

Indicadores / observaciones	Causa probable	Verificación o monitoreo	Soluciones
Cadenas o engranes rotos en el sistema	Sobrecarga Cadenas que no corresponden a los engranes Corrosión Desalineación Interferencias	Gasto afluente Alineación	Evitar sobrecargas con coples Reemplazar cadenas Reemplazar o invertir engranes Reemplazar partes Corregir condiciones de corrosión Corregir alineación Asegurarse de que no hay sólidos entre las cadenas y dientes de los engranes Afloje las cadenas
Fugas en los sellos de aceite	Falla de los sellos	Sellos de aceite	Reemplazar sellos
Falla de baleros o junta universal	Uso excesivo Falta de lubricación	Lubricación	Reemplazar juntas y baleros Lubricar juntas y baleros
Ensamble del eje de la bomba de lodos	Ajuste inadecuado del empaque		Ajuste el empaque



8

SEGURIDAD, HIGIENE Y SALUD OCUPACIONAL EN PLANTAS DE FILTROS ROCIADORES

8.1. INTRODUCCIÓN

Las prácticas de higiene y seguridad en las plantas de tratamiento de filtros rociadores son similares a las prácticas que se realizan en otros tipos de procesos de tratamiento como lodos activados, ya que las condiciones de trabajo son similares. Así, tenemos mecanismos en movimiento en sedimentadores y filtros rociadores, espacios confinados, tanques con alturas, pasillos de operación, y salas de cloración en donde existen riesgos en el desarrollo de los trabajos de operación y mantenimiento, además del riesgo que implica la biomasa en los procesos, que puede dar lugar a enfermedades transmitidas por el agua.

La tasa de frecuencia de accidentes (lesiones e incapacidades por millón de horas-hombre trabajadas) para los empleados de las plantas de tratamiento de aguas residuales son sustancialmente más altos que los del resto del personal industrial. Los riesgos para la salud, especialmente el riesgo de hepatitis, siempre han sido motivo de preocupación en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Tanto las lesiones como las incapacidades causadas por enfermedades generan sufrimiento y pérdida de recursos humanos. Además, ambos tienen un impacto negativo en la

eficiencia, la moral de los empleados, las relaciones públicas, y el costo operativo.

La gestión eficaz de una instalación de aguas residuales refleja la excelencia en todos los aspectos de la operación, incluyendo la seguridad y la salud en el trabajo. Las medidas para la seguridad y salud en el trabajo mantienen una actitud positiva desde la dirección para la prevención de accidentes y enfermedades profesionales. Esta actitud se refleja tanto en los supervisores como en los empleados.

La administración debe demostrar continuamente interés en algún programa de control de accidentes, incluyendo la planeación para casos de emergencia y la prevención de enfermedades profesionales, con la participación y cooperación de los empleados. Los programas exitosos de seguridad y las consideraciones de salud laboral se logran tomándose en cuenta desde la concepción de una instalación de aguas residuales, en su diseño, construcción, operación y mantenimiento. Este capítulo presenta las necesidades básicas de salud y seguridad en el trabajo para las plantas de tratamiento de aguas residuales. Aunque carece de la cobertura detallada de todas las situaciones que se pueden encontrar, sí describe los peligros y precauciones básicas y

enfatisa una adecuada planeación y gestión. Las referencias indicadas, incluyendo otros manuales de seguridad y salud, se deben consultar para obtener información adicional.

8.2. LEYES Y REGLAMENTOS DE LA SEGURIDAD Y SALUD LABORAL

Las normas de salud garantizan que la prevención de accidentes sea una parte integral de las responsabilidades del gerente. Los patrones están obligados a proporcionar a cada uno de sus empleados un lugar de trabajo libre de riesgos que causen o puedan causar la muerte o daño físico grave. Además, el patrón debe cumplir con la seguridad y salud en las normas de la ley.

El ambiente de trabajo no se verá afectado por luz insuficiente, ruido excesivo, suelos inseguros, pasillos bloqueados, mala ventilación, o maquinaria y herramientas defectuosas. El lugar de trabajo en las plantas deberá disponer de instalaciones adecuadas de saneamiento, incluyendo el suministro de agua, aseo y lavado de instalaciones, vestuarios y comedores.

El patrón debe cumplir con las regulaciones y normas para una buena limpieza y adecuada manipulación de alimentos. Las regulaciones requieren que los empleadores proporcionen equipos de protección personal cuando las condiciones de trabajo lo exijan así como herramientas, equipos adecuados y seguros para llevar a cabo las tareas necesarias e instrucciones claras dentro de un manual de higiene y seguridad para que el personal conozca y aplique la forma correcta y segura de llevar a cabo sus tareas. Las instituciones de salud requieren que los expedientes del patrón informen de todos los acci-

dentos y muertes relacionadas con el trabajo, así como lesiones y enfermedades.

La ley identifica las responsabilidades de los empleados. Cada empleado debe cumplir con todas las normas laborales de seguridad, reglamentos y órdenes conforme a la ley que se aplique a las acciones y conducta de los empleados.

Planeación de emergencias y comunicación temprana

Las leyes dan a la comunidad el derecho de saber acerca de los materiales peligrosos utilizados por las industrias así como el requerimiento de un plan de emergencia y las actividades de respuesta. Industrias, empresas, incluso las instalaciones municipales de tratamiento de aguas residuales, que producen, almacenan, compran, o de otra manera utilizan sustancias peligrosas están reguladas por la ley.

Son más de 400 las sustancias clasificadas como extremadamente peligrosas y entre ellas se incluye el cloro. Por tal razón, las autoridades del agua y las aguas residuales regularán la manipulación de cloro y compuestos clorados, así como los planes de emergencia para contingencias.

El cloro y los compuestos clorados no son los únicos productos químicos peligrosos utilizados en las plantas de tratamiento. En la Tabla 8.1 se muestran ejemplos de otros importantes productos químicos peligrosos utilizados, sobre todo, en instalaciones de tratamiento de aguas residuales grandes y avanzadas.

La planta municipal debe preparar una hoja de datos de seguridad del material, si alguna sustancia química peligrosa está presente en can-

Tabla 8.1 Productos químicos peligrosos en plantas de tratamiento

Aluminio	Metanol
Amoniaco	Cloruro férrico
Ácido sulfúrico	Glicol de etileno
Ácido clorhídrico	Fenol
Dióxido de azufre	Cal e hidróxido de sodio

tidades mayores a 4 536 kg (10 000 libras), o si algún producto químico incluido en la lista de sustancias extremadamente peligrosas está presente en exceso de 227 kg (500 libras), 208 L (55 galones), 0.60 m³ (200 ft³) de gas, estas instalaciones están obligadas a presentar un informe con una lista de los productos químicos a la Secretaría del Trabajo, al comité local de protección civil de emergencias y a los departamentos de bomberos locales. La lista debe categorizar a cada sustancia química presente en una o más de las cinco categorías de peligro: peligros graves de salud, riesgo de salud crónica, liberación repentina de la presión, reactividad e inflamabilidad.

Si las autoridades municipales o los responsables de la planta de tratamiento no han proporcionado la información anterior, se debe notificar a las autoridades locales, estatales y federales inmediatamente, o podrán ser penalizados.

En el desarrollo de un plan, el comité local evalúa los recursos disponibles en la preparación y respuesta a un accidente químico potencial, como una liberación de cloro. El plan incluye:

- Identificación de las instalaciones y rutas de transporte de sustancias extremadamente peligrosas
- Los procedimientos de respuesta de emergencia, dentro y fuera de las instalaciones
- La designación de un coordinador de la comunidad y coordinador de las instalaciones para poner en práctica el plan
- Procedimientos de notificación de emergencia
- Métodos para determinar la ocurrencia de una liberación y la probable zona y población afectada
- Descripción de los equipos de emergencia de la comunidad y la identificación de las personas responsables
- Los planes de evacuación
- Descripción y horarios de un programa de capacitación para el personal de respuesta de emergencia
- Los métodos, así como los programas para la aplicación de los planes de respuesta de emergencia

La legislación federal de información temprana exige la responsabilidad de la industria o la planta y asigna responsabilidades estatales y locales. Los requisitos específicos pueden variar ligeramente en función de la ubicación de las instalaciones.



8.3. PROGRAMAS DE HIGIENE Y SEGURIDAD EN PLANTAS DE TRATAMIENTO

Los programas de higiene y seguridad difieren entre las plantas, pero para tener éxito, la mayoría de los programas contienen tres elementos clave:

- Un manual de seguridad y las políticas de salud e higiene
- Un comité de higiene y seguridad
- Capacitación en seguridad, salud e higiene

Un buen programa proporcionará los servicios de asistencia en primeros auxilios. Un manual de higiene y seguridad también proporcionará información que podrá prevenir accidentes o lesiones.

Declaración de políticas

Las políticas de higiene, salud y seguridad por escrito son la base de todo programa, y pueden provenir del director del organismo operador, del director de operaciones, o del superintendente

de la planta. La declaración de políticas da a los empleados un mensaje clave del programa de seguridad y les permite saber que el programa cuenta con el apoyo de la alta dirección. El apoyo debe ser visible, es decir, los directivos deben apoyar el programa tanto con sus acciones como con los recursos financieros de la planta.

Para ser eficaz, la declaración de políticas define el propósito y la intención del programa como una medida para determinar su éxito o fracaso. Todos en el grupo de la organización deben entender el mensaje de la política y el compromiso de la dirección para que pueda lograrse una cooperación completa del personal.

El formato de la declaración de políticas debe adaptarse a las necesidades de la administración. El mensaje que los empleados reciben de la declaración de políticas expresa la actitud de la gerencia. Una declaración de políticas bien estructurada define los objetivos del programa y los objetivos de la prevención de lesiones, enfermedades y trastornos causados en el trabajo. También asigna responsabilidades para la aplicación de la política de riesgos e identificación, el desarrollo y aplicación de los procedimientos

y la capacitación del personal en los procedimientos para el trabajo seguro.

Comités

El comité de higiene y seguridad debe tener buena comunicación con la administración, la supervisión y el trabajo. Como su principal función, el comité promueve el programa de higiene y seguridad en el trabajo. Algunas de las obligaciones específicas que un comité puede emprender son las siguientes:

- Promover el programa de higiene y seguridad
- Llevar a cabo inspecciones
- Proponer y proporcionar capacitación
- Llevar a cabo investigaciones de accidentes y lesiones
- Mantener registros
- Elaborar un manual de higiene y seguridad

Capacitación

Los supervisores deben primero tener la actitud necesaria así como el interés en la higiene y seguridad, a continuación, deberán de obtener un conocimiento completo y el entendimiento de las muchas maneras en que pueden prevenir accidentes y enfermedades. De lo contrario, la seguridad en la planta no puede suceder. Los resultados de prevención no provienen de una solución al azar a un problema en particular, sino más bien de un estudio sistemático de todas las causas de accidentes y enfermedades en el trabajo, los métodos de prevención y sus aplicaciones a las operaciones de aguas residuales.

Todos los nuevos empleados deben completar un programa de higiene y seguridad, y capacitación en salud e higiene, mientras que todos los empleados deben recibir una formación cada vez que nuevos equipos o procesos de aguas residuales se añadan a las instalaciones. La administración de

Ilustración 8.2 Pláticas al personal



la planta puede determinar la necesidad de retomar la capacitación, cuando la tasa de frecuencia de accidentes es demasiado alta, o cuando las inspecciones sugieren un relajamiento de seguridad en los operadores reflejados por acontecimientos específicos de operaciones potencialmente inseguras o insalubres. La capacitación también sirve como medida de prevención contra los accidentes y enfermedades relacionados con el trabajo, incluso cuando el programa es bueno y se aplica adecuadamente.

Un amplio programa de capacitación incluirá los siguientes elementos básicos de higiene, salud y seguridad:

- Los peligros en las instalaciones de plantas de tratamiento de aguas residuales
- Salud de los empleados y la higiene industrial
- Equipos de protección personal, incluyendo la protección respiratoria
- Limpieza industrial
- Manipulación y almacenamiento de materiales
- Seguridad en el uso de herramientas manuales y eléctricas
- Prevención y control de incendios
- Primeros auxilios y RCP
- Accidentes y notificación de enfermedades
- Accidentes y la investigación de enfermedades
- Bloqueo y etiquetado de seguridad de energía
- Entrada en espacios confinados y los procedimientos de rescate
- Planes de emergencia y comunicación temprana a la comunidad

La formación en prevención debe comenzar cuando el nuevo empleado se presenta a trabajar. El supervisor se asegurará que el empleado comprenda completamente las políticas de higiene, seguridad y salud, así como la responsabilidad de seguridad en la planta. Con este adoctrinamiento, el empleado debe recibir una copia de seguridad de la planta así como las normas de salud y orientación, enfatizando su cumplimiento. El empleado también debe aprender acerca de los equipos de protección que utilizará en la planta y los requisitos de higiene personal. El supervisor o jefe de planta se encargará de entrenar a nuevos empleados en los procedimientos de trabajo seguro y deberá darle seguimiento para asegurarse que ha adoptado tales procedimientos. La formación de los empleados en primeros auxilios, y el uso de equipos e instrumentos de protección es imprescindible. Las áreas peligrosas y los procedimientos de trabajo en estas áreas deben ser comunicados a todos los empleados. El supervisor o jefe de planta revisa los procedimientos de emergencia con cada empleado y se asegura que estos procedimientos se entiendan.

Servicios médicos y primeros auxilios

Los programas modernos de salud laboral, independientemente de su tamaño, son servicios diseñados para mantener la salud de la fuerza de trabajo, prevenir o controlar las enfermedades y accidentes laborales y no laborales, así como prevenir la discapacidad para evitar la pérdida de tiempo.

Las siguientes normas ofrecen las mejores directrices para los servicios de asistencia médica y primeros auxilios de la planta:

- El patrón predispone servicios de ambulancia y de salud. Publicación de números telefónicos de ambulancias y servicios de salud
- A falta de una enfermería en las inmediaciones, clínica u hospital para tratar a los empleados lesionados, se deberá de capacitar adecuadamente a una persona o personas para prestar primeros auxilios y proporcionar suministros de primeros auxilios que son aprobados por las instituciones de salud
- Si los ojos o el cuerpo de cualquier persona están expuestos a materiales corrosivos perjudiciales, se deben proporcionar los equipos adecuados en el área de trabajo para enjuague rápido y lavado tanto de ojos como del cuerpo

Un buen programa de primeros auxilios suele incluir los siguientes elementos:

- Una persona o personas debidamente capacitadas en primeros auxilios y RCP para cada turno
- Suministros o equipo de primeros auxilios
- Un manual de primeros auxilios
- Carteles con indicaciones y números de teléfono para llamar al médico y al hospital de la planta
- Carteles con indicaciones y números de teléfono para el traslado de los empleados enfermos o heridos
- Carteles con indicaciones para llamar a una ambulancia o equipo de rescate
- Un registro de primeros auxilios adecuado

Manual de seguridad e higiene

El manual de seguridad e higiene permite a cada empleado un fácil acceso a la información valiosa que puede prevenir un accidente o lesión. El manual general contiene la siguiente información:

- Políticas de seguridad e higiene
- Seguridad y normas sanitarias
- Procedimientos de emergencia y números de teléfono de emergencia

Responsabilidades de seguridad e higiene

Un programa de higiene y seguridad es utilizado por la administración para asignar responsabilidades para la prevención de accidentes y enfermedades relacionados con el trabajo y asegurar que se cumplan estas responsabilidades.

Las consideraciones de higiene y seguridad deben ser incorporadas en el diseño de cada proceso y todos los procedimientos de operación y mantenimiento.

Responsabilidades de gestión. Una política de higiene y seguridad comienza en la parte superior de mando, si se trata de un consejo de ciudad, pueblo, comisión, o el superintendente de la planta. La política establece la actitud básica de la administración para la seguridad y salud, su eficacia depende del interés directo y continuo de la gestión, tanto financiera como de gestión con base al seguimiento que se le dé.

Ilustración 8.3 a) Regadera de presión con lava ojos b) Uso de la regadera c) Uso de lava ojos



La prevención de accidentes y enfermedades profesionales se consigue a través del control del ambiente de trabajo y del rendimiento de los empleados. La administración es responsable de establecer e implementar estos controles. Las responsabilidades de gestión específicas incluyen:

- La formulación de un escrito de seguridad y las políticas de la salud e higiene
- Proporcionar una política de seguridad y trabajo en salud e higiene
- La aplicación de la política de seguridad y trabajo en salud e higiene
- El establecimiento de objetivos de seguridad, salud e higiene
- Proporcionar una formación o capacitación adecuada
- La delegación de autoridad para asegurar que el programa se lleva a cabo correctamente
- El establecimiento de un comité de seguridad, salud e higiene

Responsabilidades de supervisión. Establecer delegados de gestión de la autoridad para la seguridad de las operaciones de una planta de tratamiento de aguas residuales para el supervisor o jefe de planta.

El supervisor o jefe de planta es la persona clave en el programa de higiene y seguridad, porque esta persona se mantiene en contacto diario con los operadores de planta y otros empleados.

La actitud hacia la seguridad y la salud adecuada y los intereses de cada empleado depende de la capacidad y los esfuerzos del supervisor o jefe de planta, quien debe instruir personalmente a los operadores acerca de los métodos y procedimientos de seguridad y velar por que:

- Cada empleado esté completamente familiarizado y entienda lo establecido sobre la seguridad de la planta, las normas y procedimientos de salud e higiene
- Los métodos correctos que se utilizan en la operación y mantenimiento de los equipos; salvaguardas adecuadas, equipos adecuados y que los procedimientos sean aplicados por los operadores
- Solo el personal calificado y capacitado podrá estar asignado a tareas específicas

En las grandes ciudades, la administración de una política de seguridad y el establecimiento de normas de seguridad en las plantas de tratamiento de aguas residuales puede ser asignada a un departamento de seguridad o director de área. Esta persona o grupo aconseja al supervisor acerca de la seguridad así como las prácticas y procedimientos de salud para la eliminación de los peligros físicos en la planta. La responsabilidad general de la seguridad de las operaciones permanece con los supervisores de la planta

a todos los niveles. Las responsabilidades del supervisor para llevar a cabo el programa de seguridad de la planta incluyen:

- Garantizar que todos los empleados estén capacitados y actualizados periódicamente en las correctas prácticas de trabajo seguro y saludable
- Velar por que se establezcan medidas de seguridad adecuadas, continuas, y se mantengan actualizadas
- Investigar todos los accidentes, lesiones y enfermedades laborales, así como la determinación de sus causas
- Llevar a cabo medidas correctivas cuando existan condiciones de la planta inseguras o insalubres de trabajo
- Asegurarse de que los equipos, las herramientas y el área de trabajo sean mantenidos acorde con las normas de seguridad establecidas

Responsabilidades de los empleados. Los empleados son responsables de observar todas las reglas y procedimientos establecidos para su seguridad y salud.

Ellos deberán de cumplir con las normas, procedimientos y prácticas generales como las siguientes:

- Observar todas las reglas escritas y reconocer los peligros asociados al trabajo
- No comenzar un trabajo riesgoso hasta que se hayan recibido las instrucciones apropiadas y se entiendan correctamente
- Reportar cualquier tipo de condiciones peligrosas, equipos inseguros, prácticas de trabajo inseguras o insalubres a su supervisor inmediato

- Reportar todas las lesiones, accidentes o enfermedades laborales al supervisor
- No utilizar el equipo en movimiento hasta que se hayan recibido las instrucciones para su uso
- Respetar los límites de velocidad, señales de tráfico y las regulaciones de estacionamiento dentro de la planta de tratamiento
- No operar ningún equipo hasta que los equipos de seguridad y protección estén en su lugar
- Mantener las herramientas de mano y herramientas especiales limpias y en buen estado
- Utilizar la herramienta correcta en la forma adecuada para la tarea asignada
- Después del entrenamiento, utilizar el equipo de protección adecuado para las condiciones de trabajo previstas
- Evitar usar ropa suelta, ya que puede quedar atrapada en los equipo en marcha
- Tener en cuenta las normas de higiene personal para evitar cualquier tipo de infección
- Evitar fumar en áreas peligrosas y prohibidas
- Evitar las bromas, alborotos y juegos
- No presentarse al trabajo bajo la influencia de sustancias controladas o llevarlas a las instalaciones
- Nunca, bajo ninguna circunstancia, comprometer la seguridad o la salud por hacer los trabajos rápidos
- Al completar cada tarea, tomar las medidas necesarias para velar por la seguridad y la salud de la siguiente persona que use el equipo o instalación

Ilustración 8.4 Carteles ilustrativos para el personal de seguridad laboral



8.4. MEDIDAS DE PROTECCIÓN SUGERIDAS ANTE RIESGOS Y SALUD LABORAL

Las emisiones químicas generadas en todo el mundo han resaltado las preocupaciones al respecto y han derivado en la legislación para el control del uso, almacenamiento y eliminación de la mayoría de los productos químicos.

Otras preocupaciones recientes implican exposición de los empleados de aguas residuales a ciertas enfermedades, especialmente el SIDA y la esclerosis lateral amiotrófica (ALS), más conocida como enfermedad de Lou Gehrig. Esta sección trata sobre muchos de los riesgos químicos y biológicos de las plantas de tratamiento de las aguas residuales y las medidas de protección que deben observarse.

Microorganismos

Los empleados de plantas de tratamiento de aguas residuales expuestos a microorganismos, tanto en aguas residuales crudas como tratadas así como

en los lodos subproducto del tratamiento, pueden incurrir en riesgos de infección y enfermedades. En la Tabla 8.2 se enumeran los riesgos biológicos para la salud que conlleva la exposición a las aguas residuales y lodos.

Aerosoles

Las nieblas generadas por los aerosoles en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales pueden transmitir bacterias infecciosas y virus. Las infecciones pueden resultar directamente de la inhalación o indirectamente de la sedimentación de las gotas en la piel o la ropa. En las áreas cerradas o en interiores donde se produce la aireación, así como las áreas de deshidratación de lodos, es probable que tengan las más altas concentraciones, siendo así zonas de alto riesgo.

El uso de respiradores de tipo gasa en zonas de alto riesgo reduce la inhalación de aerosoles dañinos. Los sitios de riego de aguas residuales deben ser periódicamente monitoreados y estudiados por sus posibles efectos adversos. Aunque la eliminación del uso de aerosoles es imposible, buenas prácticas de higiene personal y

Tabla 8.2 Enfermedades biológicas producidas por la exposición a las aguas residuales

Tipo de riesgo	Efectos observados
Hepatitis tipo A	Existe cierta evidencia de riesgo asociado al trabajo con las aguas residuales y lodos primarios
Otras infecciones virales	Se muestran algunos indicios de infección en los trabajadores más expuestos
Leptospirosis	Los riesgos ahora parecen mínimos, pero antes se consideraba como un problema importante entre los trabajadores de alcantarillado
Infestación parásita	Los trabajadores de alcantarillados y plantas de tratamiento incurren en algún riesgo mayor
Enfermedades gastrointestinales	El aumento de las tasas de enfermedades se da especialmente entre los primeros años laborales del trabajador
Factores relacionados al composteo	Escurremientos nasales y anomalías en oídos y piel pueden ser ocasionados por la exposición al composteo, y puede ser determinado por un examen físico. La exposición constante puede aumentar los síntomas de ardor en ojos y piel

de la salud mediante la inmunización, tal como se describe en la siguiente sección, reducen la posibilidad de infecciones bacterianas o virales.

Higiene y protección de la salud. La mejor defensa contra las infecciones virales y bacterianas es la práctica de una buena higiene personal. Las siguientes guías de higiene personal se aplican a las personas que trabajan cerca de las aguas residuales o lodos:

- Mantenga las manos y los dedos alejados de la nariz, boca, ojos y oídos. Use guantes de goma cuando limpie las bombas de aguas residuales, remueva sólidos, lodo o arena, o para la realización de otras tareas que impliquen contacto directo con las aguas residuales o lodos
- Use siempre guantes impermeables cuando las manos estén agrietadas o quemadas o cuando la piel sea frágil
- Lávese las manos con agua caliente y jabón antes de comer y después del trabajo

- Mantenga las uñas cortas y elimine el material extraño de las uñas con un cepillo rígido y jabón
- Guarde la ropa de calle y ropa limpia en un armario separado de la ropa de trabajo utilizada. Por lo general, dos armarios son asignados a cada empleado. Reporte todas las cortadas, rasguños y solicite tratamiento de primeros auxilios
- Bañarse después de cada jornada de trabajo

Para garantizar la máxima protección a la salud, los empleados deben recibir las vacunas para las enfermedades comunes, según lo recomendado por el servicio de salud pública (Tabla 8.3).

Gases y vapores

Los gases y los vapores son generados por la acción bacteriana, descargas industriales de gases atrapados en la red de alcantarillado, y la evaporación de compuestos orgánicos volátiles (COV). Si están presentes en cantidades significativas

Tabla 8.3 Vacunas recomendadas por el sector de salud pública

Enfermedad	¿Quién necesita la vacuna?	Vacuna
Hepatitis A	Las personas con el contacto cercano a personas con hepatitis A	Tratamiento de inmunoglobulina
Hepatitis B	Exposición directa a la sangre de una persona que se sabe o se sospecha que es portador	Inmunoglobulina
Influenza	Adultos mayores de 65 años de edad	Vacuna anual anti-influenza
Sarampión	Los adultos nacidos en 1957 o después, a menos que tengan pruebas de la vacuna en o después de cumplir un año, documentación del médico sobre la enfermedad diagnosticada, o las pruebas de laboratorio de la enfermedad	El sarampión combinado, paperas, rubeola (MMR)
Paperas	Los adultos, especialmente hombres, que no han sido previamente infectados	Vacuna de paperas
Enfermedades por neumococos	Adultos mayores de 65 años de edad	Vacuna antineumocócica polisacárida
Rubeola	Las mujeres en edad fértil, a menos que se cuente con la prueba de vacunación o de laboratorio sobre inmunidad	Vacuna de rubeola
Tétanos y difteria	Los adultos cada 10 años después de las dosis iniciales, después de las heridas o en su caso, cada 5 años	Vacuna del tétanos

pueden arder o explotar, asfixiar, envenenar; se pueden ocasionar enfermedades si se respiran estas atmósferas. Es preocupante el uso en los espacios cerrados ya que puede concentrarse el aire tóxico, debido a las tasas de ventilación inadecuadas y menor dilución del aire. La sección siguiente analiza los espacios confinados y medidas de protección.

Productos químicos peligrosos

Como se mencionó anteriormente, las operaciones de la planta deben llevarse a cabo conforme a las leyes y reglamentos (ya sea local, estatal o federal) que regulan el lugar de trabajo.

El gerente de la planta debe desarrollar un programa que identifique posibles peligros químicos, la gravedad de los peligros y los métodos eficaces de control. Si una sustancia química es identificada como potencialmente peligrosa, el incumplimiento de las medidas de precaución puede dar lugar a un riesgo real. Esta identificación exige acciones apropiadas para que la mayoría de los productos químicos se puedan almacenar y manejar de forma segura. Esta identificación deberá de usarse para que sus po-

tenciales peligros se entiendan y se adoptan precauciones adecuadas.

Para evitar lesiones y la pérdida o daño de propiedad, el manejo, almacenamiento y uso de productos químicos deben ser restringidos y supervisados cuidadosamente desde la compra química hasta su disposición. Todos los productos químicos peligrosos deben ser identificados y se deben obtener los datos de salud y seguridad, así como los procedimientos y precauciones de manejo llevadas a cabo antes y después de su uso. Un programa de control químico debe incluir procedimientos para la adquisición, manipulación, almacenamiento, distribución, etiquetado, uso, desecho, primeros auxilios y emergencias. Por último, el programa necesita la aplicación de auditorías para asegurar que se siguen los procedimientos.

Hojas de datos de seguridad de los materiales (HDSM)

Los proveedores proporcionarán hojas de seguridad que contengan una evaluación detallada de las características químicas, riesgos y otra información relativa a la salud, primeros

Ilustración 8.5 a) Protección para la manipulación de sustancias tóxicas b) Aplicación de vacunas



a)



b)

auxilios, seguridad y del medio ambiente. Las HDSM proporcionarán la siguiente información específica:

- Identificación de la composición, el número CAS, fórmula, peso molecular y sinónimos
- Datos físicos de los puntos de ebullición, congelación, fusión, gravedad específica, solubilidad, y la presión de vapor
- Reactividad tal como incompatibilidad, los productos de degradación, el potencial de polimerización
- Datos acerca de riesgos de salud sobre los efectos de la exposición (aguda y crónica), los límites de exposición permisibles, y las señales de advertencia
- Impactos ambientales tales como los efectos tóxicos sobre el medio ambiente
- Instrucciones para el envío y el cumplimiento de otras regulaciones federales pertinentes
- Métodos de control de la exposición, como las medidas de protección personal y los controles de ingeniería y administrativos
- Las prácticas de trabajo, tales como los procedimientos de manipulación y almacenamiento
- Limpieza normal, y los métodos de eliminación de residuos
- Procedimientos de emergencia para el manejo por derrames, incendios, explosiones, y los procedimientos de primeros auxilios

Las HDSM son la base de un programa de formación de los empleados en la manipulación de productos químicos, sin embargo, no debe ser consi-

derado como un sustituto para el entrenamiento. Como fuente de referencia, las HDSM deben ser accesibles a todos los supervisores y empleados.

Además de las fichas de seguridad, las grandes empresas químicas han preparado guías de manejo más detallados para los productos químicos a granel. Estas guías, generalmente disponibles sin costo alguno, también pueden ser obtenidas por un módico precio de varias asociaciones comerciales. Para obtener información especializada, el operador podrá consultar a los fabricantes o distribuidores. Los productos químicos no deberán ser recibidos, ni almacenados, ni distribuidos, en una planta sin estar previamente etiquetados, a menos que se registre y almacene la información de salud y de seguridad esencial.

Medidas de control

Las medidas de control (que se describen más adelante) incluyen la eliminación del uso de productos químicos, los controles de ingeniería y prácticas de trabajo.

Eliminación. Un determinado producto químico en la planta puede ser eliminado cambiando el proceso, cambiando el equipo o la sustitución con un producto químico alternativo que sea menos tóxico o menos peligroso. Los proveedores pueden recomendar sustitutos menos tóxicos para el uso previsto o sugerir alternativas de control para que la operación sea menos peligrosa.

Ingeniería de control. Estas medidas primarias incluyen ventilaciones (locales y generales), aislamiento del lugar y el rediseño de los lugares de trabajo. Las ventilaciones controlan principalmente los peligros en el aire (emisiones tóxi-

ca, polvo, humo, vapor o mixto). El control de la ventilación del lugar ayuda a reducir el riesgo de exposición de los empleados.

Prácticas de trabajo. Las siguientes prácticas o procedimientos ayudan a mantener seguros a los empleados:

- El uso de equipo de protección personal
- Procedimientos de almacenamiento y limpieza
- El uso de aspiradoras o barredoras para limpiar el lugar de trabajo o el área de almacenamiento de productos químicos
- Prohibición de fumar en el trabajo o en la zona de la exposición
- Usar por separado instalaciones para comer y tener un área de lavado que ayude en caso de ingestión
- Etiquetado de contenedores que incluya información detallada sobre la manejabilidad y los primeros auxilios
- Publicación de señales de advertencia para alertar a los empleados de condiciones peligrosas así como de precauciones especiales, por ejemplo el de no fumar
- Publicación de instrucción para emergencias de operaciones críticas
- Procedimientos para emergencias tales como incendios y derrames químicos, así como los procedimientos de primeros auxilios
- Registros de formación y capacitación para el uso y manipulación de cualquier producto químico peligroso
- Uso de los resultados de análisis de seguridad en el trabajo asistido con el manual de operación y mantenimiento

Guías y requerimientos de almacenamiento

Se recomienda que las prácticas de protección contra incendios para las plantas de tratamiento de aguas residuales enlisten información acerca de la manipulación o almacenamiento de productos químicos peligrosos comunes, que se encuentran en las plantas de tratamiento. Algunas secciones del código de incendios informa también sobre el almacenamiento, la distribución, el uso y manejo de los productos químicos más peligrosos que se encuentran y se utiliza en las plantas de tratamiento.

Espacios confinados

Un espacio confinado es un área accesible con al menos una de tres características: aberturas limitadas de entrada y salida, ventilaciones neutrales o desfavorables, o limitación en el diseño para trabajos especializados. La mayoría de las muertes, lesiones y enfermedades relacionadas con el trabajo en las plantas de tratamiento son debidas a la ocupación de espacios confinados en mal estado y a la exposición a los gases tóxicos, falta de oxígeno, así como a la atmósfera tenue en el mismo. En esta sección se analizan las características del espacio confinado, sus riesgos y las precauciones necesarias para su ocupación.

Aberturas limitadas de entrada y salida. Los espacios confinados son aberturas limitadas de entrada y salida principalmente por el tamaño o la ubicación. Las aberturas son generalmente pequeñas, a veces con un diámetro tan pequeño como 50 cms y son difíciles para la movilidad. Las aberturas pequeñas pueden limitar la entrada o salida de los equipos, sobre todo equipos

de protección respiratoria, necesarios para la entrada en espacios con una atmósfera peligrosa o salvaguardar los equipos de rescate. Algunas aberturas pueden ser muy amplias, como los accesos superiores de los digestores o excavaciones. El acceso al espacio abierto por arriba puede requerir el uso de escaleras, montacargas u otro dispositivo; el escape de esas áreas puede ser muy difícil en una situación de emergencia.

Ventilaciones naturales desfavorables. Debido a que el aire no puede circular libremente dentro y fuera del espacio confinado por su diseño, la atmósfera dentro de un espacio confinado puede diferir en gran medida al exterior. Los gases tóxicos o inflamables mortales como el cloro gas, pueden quedar atrapados en el interior, sobre todo en espacios que se utilizan para almacenar procesos químicos o lodos.

El oxígeno en el interior del espacio confinado puede ser insuficiente para mantener el bienestar, o el oxígeno puro podría aumentar el riesgo de incendio o de explosión si la fuente de la ignición está cerca o presente.

Sin diseño para ser ocupado en trabajo continuo. La mayoría de los espacios confinados no están diseñados para rutinas de trabajo continuo. Por lo tanto, la entrada ocasional de trabajadores para la inspección, mantenimiento, reparación, limpieza o tareas similares es a menudo difícil y riesgosa debido a los peligros químicos o físicos en el espacio.

Peligros. Los espacios confinados pueden albergar muchos peligros potenciales, incluyendo los riesgos atmosféricos y otros que se describen a continuación.

- Deficiencias de oxígeno en la atmósfera. El ambiente en un espacio cerrado puede carecer de suficiente oxígeno. Si el contenido de oxígeno está por debajo de 19.5 por ciento, no entrar en el espacio confinado a no ser que se utilice un aparato de respiración autónomo aprobado (ARAA)
- Atmósfera inflamable. Debido a la descomposición anaerobia de lodos y la liberación de metano por las aguas residuales y otros productos químicos inflamables

Ilustración 8.6 a) Uso del equipo de oxígeno b) Tipo de equipo de oxígeno



a)



b)

tales como gasolina, pueden entrar en la red de alcantarillado, y llegar a cualquier fuente de ignición como una chispa que podría causar una explosión

- **Atmósfera tóxica.** Algunos gases y vapores, si están presentes en un espacio confinado, pueden ser tóxicos incluso si no son inflamables. Además, los productos químicos utilizados para la limpieza o reparación de equipos pueden acumularse hasta llegar a niveles tóxicos por la falta de oxígeno o por ventilación inadecuada
- **Temperaturas extremas.** Las temperaturas extremadamente altas o bajas pueden afectar negativamente o incluso lesionar a los trabajadores. Por ejemplo, si el espacio tiene vapor, se debe dejar que se enfríe antes de acceder a él
- **Riesgos de entrapamiento.** Si se almacena material granular suelto en contenedores o tolvas, como la cal, carbón, arena o material similar, pueden hundir y ahogar a un trabajador. El material puede apelmazarse sobre un recipiente y luego se podrá desplazar sobre este si le cae encima el peso de un trabajador
- **Ruido.** Un espacio confinado puede amplificar el ruido debido a su diseño y características acústicas. El ruido excesivo puede dañar el oído y afectar la comunicación forzando la voz a gritos
- **Andar sobre superficies húmedas.** Es común que ocurran resbalones y caídas en una superficie mojada causando lesiones o la muerte. Además, una superficie húmeda aumentará la probabilidad y el efecto de una descarga eléctrica cuando se utilizan circuitos eléctricos, equipos y herramientas

- **Caída de objetos.** Los trabajadores en espacios confinados deben reconocer y evitar la posibilidad de caída de objetos, sobre todo en los espacios que tienen aberturas en la parte superior del lado de la entrada y en los espacios con actividades en más de un nivel

Precauciones

Debido a los riesgos ya mencionados que encierran los espacios confinados, se tienen recomendaciones o directrices para la entrada a ellos. Estas directrices se resumen a continuación:

- **Pruebas y monitoreo.** Prohibir la entrada a espacios confinados hasta que las pruebas con un dispositivo de control de gas debidamente calibrado asegure que la atmósfera del espacio confinado es seguro. Los parámetros de prueba deben incluir contenido de oxígeno, la inflamabilidad de la atmósfera y los gases tóxicos
- **Ventilación.** Mantener ventilación general continua o ventilación local (en función de los riesgos potenciales, presuntos contaminantes, el trabajo a realizar, o el tipo de espacio cerrado) antes de entrar y durante la ocupación del espacio confinado
- **Equipo de protección personal.** La protección respiratoria es esencial para la entrada a espacios confinados inseguros. Si existe una atmósfera deficiente en oxígeno, utilice un respirador aprobado por la administración de seguridad y salud. Se deberá utilizar un respirador para el suministro de aire con una unidad auxiliar autocontenida en espacios confinados con pequeñas aberturas en donde

es difícil entrar con un equipo de respiración autónoma. Los trabajadores autorizados a usar equipos de respiración autónoma no deben tener barba, ya que podría obstaculizar la correcta instalación del equipo

- Etiquetado y desplazamiento. Es necesario poner etiquetas de advertencia cerca de las entradas de todos los espacios cerrados. Las etiquetas deben estar claramente marcadas de manera que sea reconocible para todos los empleados
- Entrenamiento personal. El personal que va a trabajar en espacios confinados debe ser entrenado para identificar espacios confinados y sus riesgos, así como en el uso de los respiradores, los primeros auxilios, procedimientos de bloqueo y señalizaciones, la ventilación, procedimientos de rescate y el uso de permisos para espacios confinados y de riesgo tales como pozos de visita o registros y estaciones de bombeo. El entrenamiento de los trabajadores para la entrada a espacios confinados debe ser evaluado periódicamente para determinar si es eficaz
- Vigilancia médica. Los empleados que están autorizados para entrar en espacios confinados deben someterse a exámenes médicos periódicos, así como obtener la certificación de que son capaces de realizar el trabajo mientras se utiliza un equipo de respiración autónoma. Los trabajadores con problemas respiratorios no deben trabajar en áreas que puedan requerir el uso de estos equipos
- Entrada con permiso solamente. Autorizar con un permiso único la entrada a un espacio reducido. La autorización, que será firmada por el supervisor, identifica explícitamente el trabajo por hacer, los

riesgos asociados, listas de control de aislamiento, ropa y equipos especiales, lecturas de pruebas atmosféricas, monitoreo atmosférico, personas de reserva y procedimientos de emergencia

- Aislamiento. En su caso, aislar completamente los espacios confinados de todos los otros sistemas. La suspensión de energía eléctrica del espacio confinado se logra mediante el bloqueo de los interruptores en la posición de abierto con un candado tipo llave. El aislamiento mecánico de los elementos móviles se puede hacer mediante la desconexión de los vínculos o la eliminación de las correas de transmisión. Las válvulas de tuberías deben ser bloqueadas y etiquetadas en la posición de cierre o tapadas
- Espera y rescate. Asegúrese de que una persona capacitada se mantenga en espera por la otra persona totalmente capacitada, y un equipo de rescate se mantenga cerca del lugar de trabajo
- Procedimientos escritos. Proporcionar procedimientos por escrito para espacios confinados, específicamente para las actividades de trabajo, observación y rescate
- Respiradores. Solo se deben utilizar respiradores de oxígeno en espacios reducidos. Esta regla se debe seguir porque las unidades de purificación de aire filtran sólo ciertos tipos de contaminantes mientras que las unidades de suministro de oxígeno son seguras para cualquier ambiente. La selección del respirador apropiado para el trabajo, el tipo de peligro y la persona es muy importante. La persona que utiliza el respirador tiene una sólida formación en su uso y limitaciones. Las preguntas relaciona-

das con la selección y el uso adecuado de los respiradores deben ser dirigidas a un especialista

Protección y medidas contra los riesgos a la salud

Existen muchos riesgos de seguridad en una planta de tratamiento, y el desarrollo de medidas de protección requiere la identificación y análisis de estos riesgos.

El análisis de seguridad en el trabajo (AST) representa uno de los mejores métodos para informar a los empleados del método correcto y seguro de llevar a cabo una tarea determinada. El AST mejora las condiciones de trabajo por

- Identificar los peligros o accidentes potenciales relacionados con cada fase del trabajo
- El desarrollo de una solución que elimine o controle cada peligro
- Ayudar en la investigación de accidentes o actos inseguros para determinar su causa y la frecuencia de ocurrencia. Cuando la investigación y el AST son acoplados, se reducen las tasas de accidentes y se limita la pérdida de tiempo

Una vez que el AST identifica los peligros de la tarea, las soluciones adecuadas pueden ser desarrolladas. Algunas soluciones pueden implicar cambios físicos que controlan el riesgo, tales como la colocación de una guarda en las partes móviles de las máquinas expuestas. Otras soluciones pueden incluir el cambio de los procedimientos de trabajo para eliminar

o minimizar el riesgo, tales como el uso controlado de los materiales o el uso de equipos de protección. El AST incluye cuatro pasos básicos:

1. Seleccione el trabajo que analizará
2. Divida la tarea en pasos sucesivos
3. Identifique los peligros y accidentes potenciales
4. Desarrolle formas de eliminar los peligros para evitar posibles accidentes

Sitio de la planta

Siempre se debe considerar el cercado de la planta de tratamiento en su conjunto, sin embargo, se tendrá especial atención a las áreas de proceso de tratamiento que requieren protección contra el vandalismo y para proteger del público. Las vallas son generalmente de 1.80 m de altura o más, e incluyen dos o más cordones superiores de alambre de púas y puertas de acceso con cerraduras.

Se deben colocar señalamientos adecuados junto a la valla que proporcionen la naturaleza de la instalación y prohíban la entrada ilegal. En algunos casos, puede ser necesario, para disuadir a los intrusos, el uso de equipo de alarma de intrusión o guardias.

El diseño exterior y las vías de acceso deben canalizar a los visitantes de las instalaciones del estacionamiento al sitio de recepción; los andadores deberán conducir a la zona de oficinas. Las zonas de paso y estacionamiento requieren una iluminación adecuada y señales de dirección correspondientes.

Instalaciones de almacenamiento

Las siguientes consideraciones se aplican a las áreas de almacenamiento e instalaciones:

- Incluir un espacio suficiente para el manejo de materiales en la demanda de flujo máximo
- Disponer de estanterías por la variedad de materiales necesarios para la operación y mantenimiento de la planta y de los picos de demanda
- Proveer iluminación adecuada, ventilación y fácil acceso a las zonas de almacenamiento
- Incluir espacio suficiente para una buena limpieza y protección contra incendios

Muchos de los materiales y productos químicos utilizados en el tratamiento de las aguas residuales son corrosivos, tóxicos, explosivos o inflamables. En el manejo de estos materiales se requieren precauciones incluyendo las siguientes consideraciones:

- Guarde los productos químicos en áreas adecuadas, con buena ventilación e iluminación
- Proporcione lavajos y regaderas de emergencia tipo diluvio donde se utilizan productos químicos peligrosos y en el almacén
- Proporcione equipos de almacenamiento y descarga capaces de manejar cantidades grandes, como un vagón o un camión
- Mantenga la temperatura adecuada con controles de temperatura fiables para los diversos productos químicos almacenados

- Guarde los materiales inflamables por separado, solventes y otros productos químicos peligrosos

Iluminación

La iluminación adecuada de las plantas de tratamiento de aguas residuales es esencial porque la mayoría de las plantas requieren funcionamiento las 24 horas.

La mayoría tiene áreas cerradas que necesitan iluminación diurna. Las buenas prácticas de iluminación incluyen los siguientes lineamientos:

- Marcaciones claras, pasillos y escaleras bien iluminados para la seguridad de las operaciones
- Los tanques abiertos deberán estar bien iluminados y con peldaños para ayudar a evitar caídas o ahogamientos
- Iluminación exterior para las operaciones nocturnas seguras
- Un generador diésel de emergencia establecido para operar toda la iluminación necesaria durante un corte de energía de la red
- Alumbrado de emergencia (autónomo) como alternativa al generador de emergencia

Ventilación

Las plantas de tratamiento de aguas residuales requieren un análisis cuidadoso de las necesidades y de la provisión de ventilación debido a que la ventilación genera el bienestar e impide que se mezclen los gases explosivos, por lo que ayuda a mantener condiciones de trabajo segu-

ras. Una planta bien ventilada suele incluir los siguientes sistemas:

- Sistemas mecánicos de ventilación positiva donde pueden ocurrir deficiencias de oxígeno u otras condiciones atmosféricas peligrosas, tales como edificios, estaciones de bombeo, zonas de digestión de lodos y espacios confinados
- Ventilación forzada para asegurar un ambiente de trabajo seguro para lugares tales como pozos de registro, sumideros, pozos húmedos y secos
- Ventilación en instalaciones de desinfección, salas de control de gas, edificios, digestores, y estaciones de bombeo de lodos
- Energía de emergencia para asegurar la ventilación continua en zonas donde las mezclas de gases puedan explotar
- Ventilación forzada en calderas, incineradores, y las habitaciones donde se genera calor residual excesivo a causa de motores
- Escapes en laboratorios, lugares para cocinar alimentos, garajes, lavaderos, duchas
- Ventilación forzada que se acciona automáticamente en los edificios de cloración, salas de manipulación química y laboratorios, cuando estos estén ocupados

Protección contra incendios

Todo el equipamiento de edificios y los sistemas de alarma contra incendios deberán cumplir con las disposiciones locales, estatales y nacionales de los códigos de incendios, así como las normas relacionadas. Las siguientes consideraciones básicas de seguridad se aplican a los sistemas de protección contra incendios:

- Los hidrantes deben tener la capacidad suficiente para las necesidades de flujo en caso de incendio
- Los sistemas de inundación de dióxido de carbono pueden ser aconsejables para los procesos que producen o utilizan gases inflamables y las áreas donde se utilizan sistemas de aceite de alta presión
- Asegúrese que la longitud de las mangueras sea suficiente para la planta y el servicio de limpieza en general, erradicando el polvo para que las condiciones de riesgo de incendio se pueden prevenir

Las plantas deben cumplir con las normas y reglamentos y las prácticas recomendadas para protección contra incendios en las plantas de tratamiento de aguas residuales, reconociendo que la información que contiene el plástico y fibra de vidrio ha sido retirada.

También se pueden seguir las recomendaciones para extintores, incluidas en la Tabla 8.4.

Distancias de distribución de los extintores conforme a las siguientes clases:

- Incendios clase A: 23 m o menos
- Incendios clase B: 15 m o menos (9 kg clase B fuera del área de almacenamiento de combustible)
- Incendios clase C: 15 m o menos
- Incendios clase D: 23 m o menos

La administración debe garantizar que

- Los extintores son inspeccionados, mantenidos y probados por personal calificado o en su defecto el proveedor
- Los extintores son inspeccionados mensualmente

Ilustración 8.7 a) Manguera de agua contra incendios b) Hidrante tipo toma siamesa



Tabla 8.4 Tipos de fuego y extinguidores

Material combustible	Clases de fuego y tipo de extintor	Se extingue con
Papel, madera, tela	A (combustibles ordinarios)	Agua, soda-ácido, seco y química clasificación A, B, C
Aceite, alquitrán, gasolina, pintura	B (líquidos flamables)	Espuma, dióxido de carbono, gas líquido (halones), y nominal químico seco B, C y A, B, C
Motores eléctricos, cables de alimentación, cableado y cajas del transformador	C (equipamiento eléctrico)	Dióxido de carbono, gas líquido (halones), y nominal químico seco B, C y A, B, C
Sodio, zinc, fósforo, magnesio, potasio, y titanio, especialmente en forma de polvo o virutas	D (metales especiales)	Utilice únicamente extintores especiales de polvo seco marcados para este fin

- Los extintores reciben mantenimiento anual
- Los extintores reciben pruebas hidrostáticas, según sea necesario
- El llenado se lleva a cabo tan pronto como sea posible después de su uso

Estos servicios se pueden adquirir con un vendedor local o suministrados por el departamento de bomberos de la región. Las pruebas, mantenimientos e inspecciones deberán de ser registrados.

Suministro de agua

El suministro de agua potable debe cumplir con las necesidades de laboratorio y limpie-

za general para ser utilizada en la planta, así como para el agua potable y la higiene personal. Evite conexiones en la tubería ya que podrían causar una conexión cruzada y posibilitar la contaminación de un suministro de agua potable.

El agua potable de un municipio o un suministro de agua independiente aprobado puede ser utilizado directamente en los siguientes suministros de agua caliente y fría:

- Disipador de laboratorio
- Baños
- Lavabos
- Regaderas

- Fuente de agua e hidrantes contra incendios

El agua caliente para cualquiera de las unidades anteriores no tiene que provenir de un boiler ya que puede ser suministrada por un intercambiador de calor de lodos o serpentines de calefacción del digestor.

Cuando el suministro de agua potable se va a utilizar para cualquier propósito enumerado anteriormente, el sistema de alimentación debe incluir un depósito, válvula *check*, bomba de presión, y el tanque de presión. El agua debe entrar en el tanque de recepción a través de un espacio de aire de al menos 150 mm por encima del nivel o de la línea de derrame del tanque. En cada manguera o grifo que se encuentre en el sistema de agua se deberá colocar un letrero permanente indicando que el agua no es segura para beber, lavar o cocinar.

Cuando se proporciona un suministro de agua no potable por separado, no se necesita un tanque de presión. Todos los grifos y mangueras deben estar etiquetadas permanentemente con letreros que indiquen que el agua no es segura para beber o para cocinar. Agua no potable, incluyendo agua extraída de pozo, o del tanque de almacenamiento y depósitos al aire libre, no deberán de utilizarse para el baño o para lavar cualquier parte del cuerpo, ropa, o trastes de cocina.

Se deberá contar con conexiones controladas de agua residual tratada en todas las instalaciones de aguas residuales donde se requiera, incluyendo las plantas de tratamiento, estaciones de bombeo, y los reguladores de flujo. Además de contar con el control original de diseño para evitar conexiones cruzadas, los proceso y modificaciones de la planta deberán ser analizados para evitar los peligros potenciales, tales como condiciones de reflujo.

Ilustración 8.8 Tamaños y capacidades de extinguidores



Las tomas deben ser reducidas y las principales líneas de presión desconectadas con válvula de retención doble, o interruptores de vacío, en función del riesgo real o potencial de contaminación. Estas tomas deben ser protegidas y diferenciadas del sistema de agua potable, eliminando así la amenaza para la salud de los empleados de las instalaciones de aguas residuales.

Equipos eléctricos

La mayoría de los equipos en una planta de aguas residuales utiliza la electricidad como fuente de alimentación primaria.

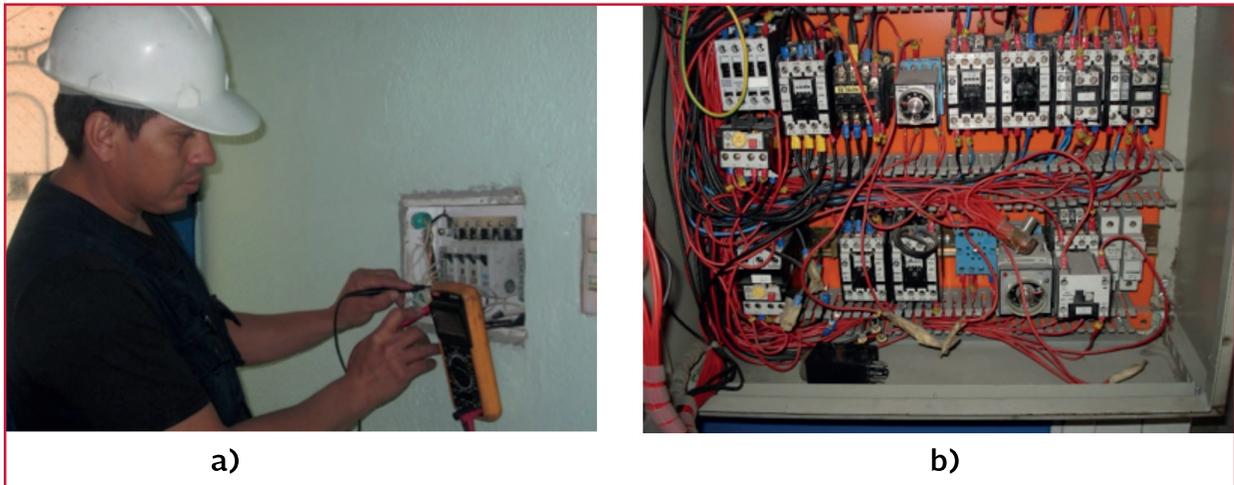
El mantenimiento del equipo requiere la exposición a los riesgos eléctricos que pueden causar *shock* o la muerte si no se siguen estrictamente las prácticas de seguridad. La siguiente lista de medidas generales de seguridad proporciona una base inicial para la preparación de las normas y procedimientos de seguridad eléctrica para una planta de aguas residuales específica:

- Permita que solo personal calificado y autorizado trabaje en con equipos y cables eléctricos o realice las tareas de mantenimiento eléctrico
- Proporcione y utilice dispositivos de cierre obligado, así como etiquetas en todas las áreas
- Siempre revise que los equipos eléctricos y líneas estén debidamente conectadas a tierra. Lo que no está conectado a tierra puede ocasionar accidentes
- Prohiba el uso de escaleras metálicas o cintas métricas metálicas junto a la ope-

ración de todo equipo eléctrico

- Dos personas deben trabajar siempre como un equipo, en equipo con electricidad. Use guantes de goma aprobados para voltajes superiores a 300 V
- No abra un panel de control eléctrico energizado
- Antes de que se realice un trabajo en una línea o en una estación que funciona a 440 V o más, la línea o estación debe ser desactivada, bloqueada y conectada a tierra de una manera aprobada
- Nunca probar un circuito con cualquier parte del cuerpo
- Disponer a tierra, evitando el contacto del cuerpo con agua, tuberías, desagües, u objetos metálicos mientras se trabaja en equipo eléctrico o cableado
- No pase por alto ni deje inoperante cualquier dispositivo eléctrico de seguridad
- Cuando se trabaja en lugares cerrados, cubrir todos los circuitos energizados con mantas aislantes aprobadas
- Todas las herramientas deben estar aisladas de las asas
- Nunca utilice linternas con carcasa metálica
- No use joyas cuando trabaje con o cerca de circuitos eléctricos. Conectar a tierra o aislar doblemente todas las herramientas eléctricas
- Use alfombras de goma en los centros de control y cuadros eléctricos
- Siempre mantenga los motores eléctricos, interruptores y cajas de control limpias

Ilustración 8.9 a) Técnico electricista con equipo de seguridad b) Tablero eléctrico



Laboratorio

La seguridad es importante en el laboratorio como lo es en el resto de la planta de tratamiento. Las siguientes son buenas prácticas de seguridad para los laboratorios:

- Desechar el material de vidrio astillado o roto en un contenedor específico marcado para la eliminación de los cristales rotos
- Cuando se usen disolventes volátiles, bases, ácidos u otras sustancias químicas que puedan causar un riesgo atmosférico, realizar los trabajos bajo una campana ventilada
- Guardar los solventes en envases especiales a prueba de explosiones y de espacios inflamables
- Al usar ácidos que reaccionan violentamente con algunos materiales orgánicos (amoníaco, ácido nítrico, acético, y ácidos perclóricos), tener cuidado para evitar la posibilidad de incendio o explosión
- No manipular los productos químicos con las manos desnudas. Use guantes, cristalería, pinzas, una espátula, o lo que sea más adecuado para el material que está siendo manipulado
- Contar con el lavado de ojos de emergencia y regadera en el laboratorio
- Usar peras de succión en todas las pipetas
- Usar delantales de goma cuando se trabaja con productos químicos corrosivos
- Utilizar una máscara o gafas al manipular productos químicos peligrosos
- Etiquetar claramente todos los recipientes de productos químicos
- Usar guantes de goma cuando se hacen las conexiones de vidrio
- Proporcionar ventilación adecuada para eliminar los humos y el polvo
- Prohibir fumar y comer en el laboratorio
- Almacenar los cilindros de oxígeno en un área bien ventilada
- Proporcionar extintores adecuados y de fácil acceso

Ilustración 8.10 a) Materiales de laboratorio b) Uso del laboratorio



a)



b)

- Utilizar pinzas y guantes aislantes para extraer muestras de platos calientes, hornos o estufas
- Proteger bombas centrífugas y bombas calorimétricas
- Conectar correctamente todo el equipo eléctrico a tierra
- Lavarse bien las manos con agua caliente y jabón antes de comer o fumar
- Asegurarse de que todos los grifos de laboratorio tienen interruptores de vacío atmosférico permanentemente instalados para evitar el sifonaje de material tóxico o contaminar el sistema de agua potable
- Proporcionar herramientas de emergencia para derrames (*kits*), siempre que estén disponibles en el mercado para los productos químicos específicos, de lo contrario, proporcionar un recipiente de material absorbente inerte, tal como arena, para su uso en ácido o los derrames de bases

Operaciones peligrosas

Algunas de las áreas de la planta y las condiciones de trabajo dentro de la misma plantean riesgos potenciales. Esta sección explica los procedimientos y métodos para reducir al mínimo esos peligros o trabajar con seguridad a pesar de su presencia.

Áreas de trabajo bajas. Las principales áreas de trabajo a nivel de suelo, como la inspección del alcantarillado, pozos y estaciones de bombeo, deben ser inspeccionadas, mantenidas y conservadas limpias. Otros trabajos debajo del suelo pueden incluir la reparación y mantenimiento de alcantarillas, túneles de tuberías, zanjas, hoyos y tanques. Los principales riesgos incluyen la deficiencia de oxígeno, presencia de explosivos y gases tóxicos, caídas y la exposición directa a las aguas residuales o lodos.

En general, las áreas bajo el suelo en espacios confinados deberán ser revisadas por los opera-

dores y seguir las prácticas de seguridad que se describen a continuación:

- Coloque los dispositivos de advertencia, barreras, barricadas o barreras de seguridad para proteger a trabajadores, visitantes y operadores antes de quitar las tapas o rejillas
 - Localice camiones y otros equipos para reducir al mínimo los obstáculos de tráfico o riesgos
 - Si en el lugar existen camiones, o equipos en la zona de trabajo, además del tráfico de estos, los vehículos deberán tener una luz de advertencia giratoria operable o luz estroboscópica
 - Se deberán colocar conos, banderas u otros dispositivos para redirigir el tráfico, además de cumplir con las normas de tráfico o carretera local
 - Siempre retire y vuelva a colocar las tapas de alcantarilla con ganchos o dispositivos de levantamiento
 - Nunca use un soplete u otra llama abierta para derretir el hielo en torno o por debajo de una tapa de alcantarilla o cualquier otra cubierta superficial
- No permita que se fume en cualquier estructura subterránea o gabinete
 - Antes de entrar en cualquier área de trabajo por debajo de la superficie, realice pruebas de deficiencia de oxígeno y presencia de gases peligrosos con indicadores de gases aprobados
 - En las zonas con atmósfera normal, asegúrese de que el trabajador tenga un arnés de seguridad unido a una línea de vida o un trípode y montacargas antes de entrar al área
 - Para trabajos prolongados, utilice la ventilación forzada de aire y repita las pruebas de gases con frecuencia para asegurar la continuidad en condiciones de seguridad
 - Mientras se ejecute el trabajo en un pozo de registro, dos personas deben permanecer en la superficie de la abertura para manejar la línea de vida, trípode o montacargas, en caso de ser necesario
 - Cuando haya deficiencia de oxígeno o presencia de gas, purgue el subsuelo forzando aire fresco a la caja antes de entrar. Mantenga una ventilación adecuada todo el tiempo en que la zona esté ocu-

Ilustración 8.11 a) Colocación de conos de precaución en áreas de riesgo b) Evitar fumar en el área de trabajo



a)



b)

- pada; repita las pruebas o mediciones atmosféricas con frecuencia
- Durante una emergencia, si una persona tiene que entrar en una zona con deficiencia de oxígeno o presencia de gas, asegúrese de que utilice un respirador con suministro de aire
- Tenga mucho cuidado para evitar todas las fuentes de ignición, si el gas inflamable está presente, utilice herramientas que no generen chispas y zapatos especiales
- Todo equipo eléctrico o electrónico debe estar clasificado con base en la prueba de explosión
- Use una escalera no conductora portátil donde el espacio permita su uso. De lo contrario, use un arnés y trípode con polipasto, pero solo después de ser probado
- Al entrar por primera vez al área bajo tierra, es importante verificar las condiciones inseguras
- Informe al supervisor de cualquier defecto como grietas y ladrillos sueltos en el techo, paredes, conductos de piso, y sumideros
- Permita solo el paso de un empleado a la vez en el ascenso o descenso de cualquier escalera, mientras que los otros deben mantenerse alejados de la zona debajo de la escalera
- Compruebe peldaños en pozos e informe si encuentra peldaños débiles o defectuosos al supervisor inmediato
- Si un líquido que se encuentra en una alcantarilla o bóveda puede ser inflamable, deberá de verificarse con algún método apropiado. Si no se encuentran líquidos inflamables, elimine y purgue el área antes de proceder con cualquier trabajo

- Asegúrese que cada empleado use ropa de protección adecuada, como casco, guantes y botas de goma

Uso de arnés. Es imprescindible que en el plan de higiene y seguridad los trabajadores que usen arnés de seguridad estén debidamente capacitados al respecto, asegurando que saben cómo usarlo correctamente.

Durante el primer período en campo, es necesario corroborar que los trabajadores tengan los conocimientos adecuados sobre el uso y los riesgos de los arneses de seguridad. Tomar las acciones apropiadas si es necesario. En caso de duda, no les permita continuar la instrucción hasta que todos los aspectos queden claros y entendidos.

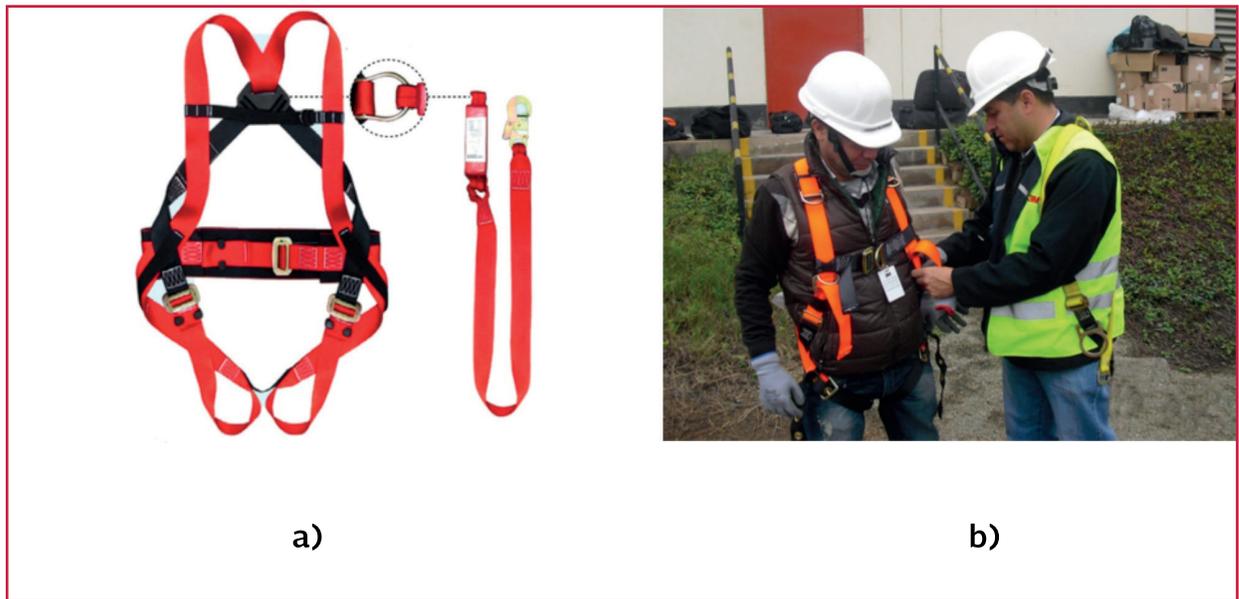
Utilice las inspecciones para centrarse específicamente en el uso de arneses.

Proveer al trabajador que va a usar por primera vez un arnés en la caja de herramientas, un catálogo de cómo inspeccionar y usar el arnés de seguridad.

Levantamiento de equipo pesado. La operación normal de la planta y su mantenimiento implican el manejo de muchos objetos. La manipulación de objetos pesados o voluminosos deberá de hacerse con prudencia, ya que puede causar accidentes. Se deberá hacer el levantamiento adecuado de materiales para evitar lesiones en la espalda, tal como se indica con los siguientes fundamentos:

- Considere el tamaño, forma y peso del objeto a ser levantado y levante solo lo que puede ser manejado cómodamente
- Inspeccione para detectar astillas de me-

Ilustración 8.12 a) Equipo de seguridad b) Trabajador usando el equipo de seguridad



- tal, bordes afilados, rebabas y superficies rugosas o resbaladizas
- Utilice una base sólida y coloque los pies lo suficientemente separados para tener buen equilibrio y estabilidad
- Acerque lo más posible la carga y doble las piernas alrededor de 90 grados en las rodillas
- Mantenga la espalda lo más recta posible
- Agarre el objeto con firmeza
- Para levantar el objeto, estire las piernas
- Nunca lleve una carga que bloquee la visión hacia adelante
- Al bajar un objeto, repita la postura y la posición de elevación. Doble las piernas a 90 grados en las rodillas y baje el objeto
- Cuando se requieran dos o más personas para manejar un objeto, coordine los esfuerzos para asegurar una elevación suave y una distribución equitativa del peso entre los cargadores. Cuando se lleva el objeto, cada persona, si es posible, debe hacer

- frente a la dirección de desplazamiento
- Cuando la manipulación sea de objetos pesados o voluminosos, utilice equipos de elevación mecánica o energía operada por empleados autorizados y capacitados. Si estos objetos deben levantarse manualmente, utilice las siguientes prácticas para evitar lesiones en las manos y los dedos:
 - Limpie las manos y los pasillos de aceite, grasa o agua que puedan impedir un agarre firme
 - Limpie la grasa, aceite o suciedad antes de manipular objetos voluminosos o pesados
 - Use guantes cuando sea necesario
 - Mantenga los dedos alejados de puntos que podrían exponerlos a ser pellizcados o rotos, especialmente cuando se va a apoyar el objeto o va a pasarse por alguna puerta
 - Sujete firmemente el objeto

Ilustración 8.13 Formas correctas de levantar objetos pesados



Operaciones en escaleras. Las caídas son la segunda mayor causa de lesiones de trabajo. Los riesgos de caídas dentro de la planta incluyen los de uso de escaleras, un peligro de accidente grave. A continuación se enumeran las normas de seguridad para el uso de escaleras de mano:

- Asegurar que todas las escaleras estén equipadas con bases de seguridad aprobadas
- Coloque la escalera de manera que la distancia horizontal entre el pie y el apoyo en la pared o muro sea igual a una cuarta parte de la longitud total de la escalera
- No permita trabajar de pie o en cualquiera de los dos primeros peldaños de la escalera (esto no se aplica a las escaleras de la plataforma de seguridad)
- Nunca empalmar escaleras cortas
- Nunca coloque una escalera contra un apoyo inseguro
- Asegurar que los pies de la escalera descansan sobre un soporte sólido
- No use escaleras como plataformas en los andamios
- Siempre que sea posible, ate la parte superior de una escalera recta a un soporte firme
- Asegurar que el personal tenga al menos

una escalera de mano cada vez que se trabaje a 3 m o más por encima del suelo

- Asegurar que las piernas del paso de la escalera se extiendan completamente mientras es utilizada. Use escaleras no conductoras mientras trabaja cerca de líneas eléctricas
- Evite el uso de escaleras de mano como escaleras rectas
- Extienda las escaleras por lo menos 1 m por encima del nivel de la plataforma de trabajo para facilitar el acceso o salida

Instalación de gas, tuberías, y piezas especiales. Las áreas de producción de gas deben tener todo el equipo de seguridad necesario, incluyendo válvulas de alivio de presión y vacío, cortafuego con seguridad automático y válvulas de cierre.

Las siguientes prácticas de seguridad adicionales se aplican en general:

- La tubería de gas de diámetro estándar debe inclinarse hacia trampas de condensado en los puntos bajos
- La mayoría de los códigos locales prohíben el control de trampas de condensado por flotador

Ilustración 8.14 Situaciones de accidentes

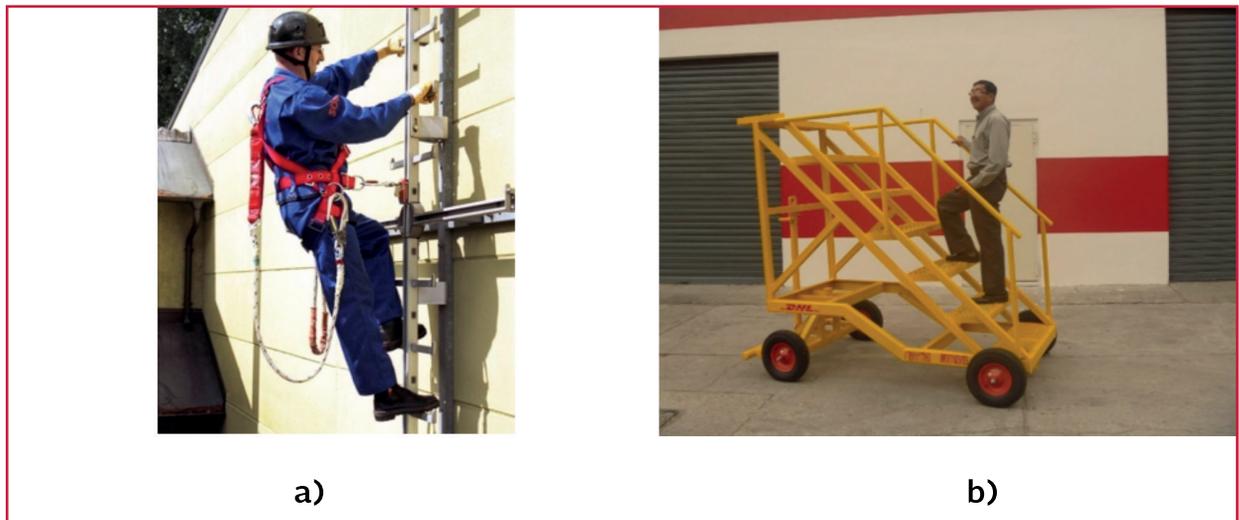


Ilustración 8.15 Situaciones de accidentes



- Las calderas y motores de combustión de gas por lo general deben estar situados a nivel del suelo y en habitaciones bien ventiladas
- Los apagaflamas deben establecerse en las líneas de gas a estas unidades
- En lugares cerrados donde puede acumularse gas, las instalaciones eléctricas deben cumplir con las especificaciones para condiciones peligrosas
- Utilice las baterías o unidades de reserva del motor diésel de energía de emergencia para operar los paneles de control, dispositivos de distribución, luces de emergencia y ventilación
- Ubique los quemadores de gas, si están a nivel del suelo, deberán ubicarse por lo menos a 7.5 m de distancia de cualquier estructura de la planta. Pueden descansar en el techo del edificio de control, si

ese punto está lo suficientemente lejos de los tanques

En los lugares de la planta donde la electricidad estática podría inflamar una mezcla explosiva, tome las precauciones adicionales para mantener el potencial en cero (es decir, la eliminación de líquidos inflamables). Una y aterrice todos los circuitos, así como los conductos metálicos, cajas o equipos.

Consideraciones generales de seguridad

La dirección debe asegurarse de que la planta se ha diseñado para eliminar o minimizar los riesgos de inseguridad tanto como sea posible.

El superintendente de la planta o el operador deben participar en el equipo de diseño para las modificaciones de la planta.

Las siguientes consideraciones generales de seguridad son aplicables a la planta en su diseño:

- Proporcionar pavimentos y peldaños antiderrapantes
- Usar códigos de colores o etiquetas para todas las tuberías
- Mantener un mínimo de espacio en aberturas o entradas de 2.10 m
- Proporcionar guardas en todas las partes móviles accesibles de maquinaria
- Equipar todas las escaleras, aberturas, tanques, cubetas y plataformas con barandales de seguridad estándar
- Colocar letreros de advertencia en todas las áreas peligrosas
- Proporcionar desagües adecuados a las necesidades de lavado
- Proporcionar medios de elevación adecuados

- Aislar las instalaciones de desinfección de otros edificios
- Proporcionar dispositivos de detección de fugas de dióxido de azufre y cloro, así como alarmas automáticas
- Proporcionar detectores de gases inflamables y tóxicos, así como indicadores de deficiencia de oxígeno y alarmas
- Incluir respiradores con suministro de aire portátiles en áreas específicas de la planta
- Proporcionar un espacio adecuado para la correcta operación y el mantenimiento satisfactorio de todas las instalaciones de equipos
- Proporcionar inodoros, lavabos o piletas para lavarse, así como agua fría y caliente para regaderas
- Proporcionar vestuarios, bancos, espejos y armarios metálicos
- Proporcionar instalaciones adecuadas de alimentación con refrigerador, fregadero y estufa

8.5. INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES Y SISTEMA DE REGISTROS

El tratamiento oportuno y notificación de las lesiones, independientemente de la gravedad, son importantes para la reducción de los accidentes y sus efectos. La dirección debe ser informada para que la cobertura del seguro y el tratamiento prolongado se pueda proporcionar según sea necesario. La administración debe notificar a la familia del empleado lesionado o la persona que el trabajador haya designado para tal notificación. Los procedimientos especiales deben ser solicitados con antelación para un tratamiento oportuno. También se necesitan los registros de una enfermedad relacionada con el trabajo para

dar seguimiento a los trabajadores individualmente y a su proceso de tratamiento. El objetivo primordial de la combinación de información de accidentes, rápida y precisa, es la prevención de accidentes similares. Los formularios de seguros de accidentes y otros formatos rara vez son suficientes para determinar por qué se produjo el accidente. Las deficiencias en los informes inmediatos destacan la necesidad y la importancia de la investigación de accidentes.

La investigación debe ser planificada con antelación. Un accidente siempre es posible y se debe estar preparado para ello, considerando de antemano estas preguntas básicas:

- ¿Quién va a investigar?
- ¿Cómo se le notificará al investigador y cuándo?
- ¿Se puede conservar la escena del accidente (la evidencia dejada en el lugar)?

Una cámara fotográfica, cámara de video, una cinta métrica y un plan para los primeros pasos son esenciales para la investigación del accidente. Además, el investigador debe llegar a la escena del accidente con pluma, papel cuadriculado, lupa, tiza, bolsas de plástico, etiquetas, lápices y tarjetas de declaraciones de testigos, los nombres y direcciones. A su llegada, el investigador debe tardar varios minutos para analizar:

- ¿Quién está aquí, quién no y quién debería estar?
- ¿Qué está fuera de lugar?
- ¿Están rutas o pasillos bloqueados?

- ¿Qué pasó y en qué daño se ha incurrido?
- ¿Quién está herido?
- ¿Quién está a cargo de la situación?

El investigador debe, si es posible, permanecer en el perímetro para recabar la información, llenar tarjetas de los testigos, tomar fotografías, y así sucesivamente. Si no hay nadie a cargo, el investigador debe hacerse cargo y cuidar a los heridos, asegurar el área de daños mayores, cuidando el acceso a zonas de incendios, cuidar de posibles derrames, y normalizar la fuerza de trabajo o la ciudadanía. A continuación, la zona es limpiada por los equipos médicos y de rescate o reparación.

Por último, se almacenan las tarjetas de los testigos para su procesamiento. El procedimiento anterior se aplica generalmente a la mayoría de los accidentes.

El investigador debe reunir los hechos como lo que se observó, lo que muestran las fotos, las mediciones en el lugar, las declaraciones de la víctima y las declaraciones de los observadores. El análisis objetivo de los hechos debe centrarse en lo que pasó, lo que causó el accidente o incidente y qué se puede hacer para evitar que suceda otra vez.

Las conclusiones y resultados de la investigación del accidente deben informarse claramente a la gerencia. Asimismo, se debe hacer un informe bien escrito que refiera claramente lo que pasó, sugiera maneras para prevenir incidentes similares y recalque que se ameritan acciones decisivas por parte de la administración.



CONCLUSIONES

Este libro incluye diversos temas referentes a los filtros rociadores, sedimentación secundaria, seguridad, higiene y salud en el trabajo. Su tema principal es la operación de los sistemas de tratamiento con base en filtros rociadores aplicados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

Los operadores de plantas de tratamiento de aguas residuales con el proceso de filtros rociadores requieren capacitación para conocer los conceptos básicos así como familiarizarse con las consideraciones necesarias para realizar la operación de una manera adecuada. Este libro ofrece la teoría básica, la descripción del proceso así como los factores que afectan el funcionamiento del sistema. El uso y manejo de este libro permitirá que el operador cuente con la herramienta básica para mejorar la planta de tratamiento.

La operación de cada parte de la planta es muy importante, desde el pretratamiento, con la extracción de basura y arena, y la sedimentación primaria para la extracción de sólidos suspendidos, grasas y aceites, así como un poco de materia orgánica, que dejan el agua en mejores condiciones para su posterior tratamiento biológico. Estos temas se pueden consultar en el libro de *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: pretratamiento y tratamiento primario*.

En el sistema de tratamiento por filtros rociadores se tiene escaso control del proceso. Lo más importante es mantener el espesor óptimo de la biomasa adherida al medio filtrante, esto se puede lograr con la velocidad de giro de los brazos distribuidores que, al ir más lentos, descargan un volumen mayor que rasura la biomasa. El exceso o falta de biomasa afecta directamente la eficiencia del tratamiento.

La sedimentación secundaria es un proceso que siempre acompaña a los filtros rociadores, por tanto, también se incluye en este libro. Este proceso permite la separación de la masa biológica generada en el

filtro. En un proceso bien logrado de sedimentación, el agua se verá clara y con pocos sólidos a la salida de esta unidad.

Se mencionan también los factores ambientales que afectan el funcionamiento y los factores que influyen en la eficiencia. Desafortunadamente no es posible incidir en la mayoría de estos factores para ayudar en la operación de la planta.

La desinfección se aplica con cloro y luz ultravioleta, mencionándose los principales aspectos de estas dos tecnologías, las más utilizadas actualmente.

Al final se proporciona un capítulo muy completo sobre seguridad, higiene y salud ocupacional específicamente para aplicarse en plantas de tratamiento de aguas residuales, de ahí se puede inferir para el sistema de tratamiento por filtros rociadores. Es muy importante la creación de un comité y la identificación de los responsables del seguimiento a las acciones para proporcionar seguridad a los trabajadores y a los visitantes que recibe la planta.

BIBLIOGRAFÍA

- Arce Velázquez, A. L., Calderón Mólgora, C., y Tomasini Ortiz, A. C. (2001). *Fundamentos técnicos para el muestreo y análisis de aguas residuales*. Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua. Conagua, IMTA.
- Benefield, L. D., Judkins, J. J., y Parr, A. D. (1984). *Treatment Plants Hydraulics for Environmental Engineers*. Nueva Jersey: Prentice Hall Inc. 07632. ISBN 0-13-930248 - 4
- Crites, R., y Tchbanoglous, G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Nueva York: Editorial McGraw-Hill. ISBN: 0-07-289087-8.
- Grady, L., y Lim, H. C. (1980). *Biological Wastewater Treatment: Theory and Applications*. Nueva York: Marcel Dekker.
- Grady, L., Daigger, G., y Love, N. (2011). *Biological Wastewater Treatment*. CRC Press. ISBN 9780849396793-CAT9679
- Metcalf y Eddy. (2003). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. Nueva York: McGraw Hill. ISBN: 0-07-041878-0.
- Secretaria de Comercio y Fomento Industrial (1980). *Norma Mexicana NMX-AA-003-1980. Aguas residuales-Muestreo. Que establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas*.
- Ramalho, R. S. (1993). *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona: Editorial Reverté.
- SEMARNAT. (1996). *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*. Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (1996). *Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal*. Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (1997). *Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público*. Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (2002). *NOM-004-SEMARNAT-2002 Protección ambiental- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final*.
- Sperling Von, M. (1996). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: DESA-UFMG.
- Sullivan, R. J. (1983). *Safety and Health in Wastewater System*. Alexandria, VA, Estados Unidos.
- Syed R. Qasim (1994) *Wastewater Treatment Plants, Planning, Design, and Operation*. Lancaster, Pennsylvania, Estados Unidos: Technomic Publishing Company, Inc. ISBN 1-56676-134-4
- WEF (1985). *Manual of Practice FD - 8 Clarifier Design*. Alexandria, VA, Estados Unidos.

- 22314-1994, ISBN 0-943244-61-7
- WEF (1988). *Manual of Practice OM – 10 O&M Of Trickling Filters, RBCs, And Related Processes*. Alexandria, VA, Estados Unidos. 22314-1994, ISBN 0-943244-75-7
- WEF (1992). *Manual of Practice No. 11 Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants*. Alexandria, VA, Estados Unidos. V. I, II y III. ISBN 0-943244-69-2
- WEF (1992). *Manual of Practice No. 8 Design of Municipal Wastewater Treatment Plants*. Alexandria, VA, Estados Unidos. V. 1 y 2. ISBN 0-87262-834-5
- WEF (2000). *Aerobic Fixed – Growth Reactors a Special Publication*. Alexandria, VA, Estados Unidos. 22314-1994. ISBN 1-57278-162-9
- WPCF (1977). *Wastewater Treatment Plant Design. Manual of Practice*. Lancaster Press Inc.

ABREVIATURAS

Sigla	Significado
At	Altitud sobre el nivel del mar
Cl	Cloro
r	Coefficiente de transferencia de oxígeno
CF	Coliformes fecales
COV	Compuesto orgánico volátil
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DBOe	Demanda bioquímica de oxígeno de entrada
DQO	Demanda química de oxígeno
CO ₂	Dióxido de carbono
P	Fósforo
SePT	Fósforo final
SiPT	Fósforo inicial
PT	Fósforo total
Q	Gasto
Qr	Gasto de recirculación
Qf	Gasto final
G y A	Grasas y aceites
NaClO	Hipoclorito de sodio
IVL	Índice volumétrico de lodos
Y	Metabolismo celular
N	Nitrógeno
NH ₃	Nitrógeno amoniacal
SeNH ₃	Nitrógeno amoniacal final
SiNH ₃	Nitrógeno amoniacal inicial
NO ₃ ⁻	Nitrógeno de nitratos
NT	Nitrógeno total
OD	Oxígeno disuelto
pH	Potencial hidrógeno
RLA	Recirculación de lodos activados
A/M	Relación alimento microorganismos
Kd	Respiración endógena
SS	Sólidos suspendidos
SSLM	Sólidos suspendidos del licor mezclado

Sigla	Significado
SST	Sólidos suspendidos totales
SSV	Sólidos suspendidos volátiles
SSVs	Sólidos suspendidos volátiles a la salida
SSVLM	Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado
SSVr	Sólidos suspendidos volátiles en el lodo de recirculación
SSVi	Sólidos suspendidos volátiles iniciales
T	Temperatura
TRCM	Tiempo de residencia celular medio
θ_C	Tiempo de residencia celular medio
Tr	Tiempo de residencia hidráulico
K	Velocidad de consumo de sustrato
Vr	Volumen del reactor

A

FORMATO DE OPERACIÓN

Registro de parámetros de operación en filtros rociadores

Capturó: _____ Registro mensual no. _____ Año: _____
 Supervisó: _____ Mes: _____

FECHA	Afluente										Efluente										
	DBO	DOO	SST	SSV	OD	pH	T	Q _t	Q _k		DBO	DOO	SST	SSV	OD	pH	T	(A)	(B)	(C)	
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
21																					
22																					
23																					
24																					
25																					
26																					
27																					
28																					
29																					
30																					
Total																					
Prom.																					

(A) Alcalinidad
 (B) Amoniaco
 (C) Operador

Aprobo: _____ Nombre y Firma



TABLA DE CONVERSIONES DE UNIDADES DE MEDIDA

Sigla	Significado	Sigla	Significado
mg	miligramo	kg/m ³	kilogramo por metro cúbico
g	gramo	l/s	litros por segundo
kg	kilogramo	m ³ /d	metros cúbicos por día
mm	milímetro	Sm ³ /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 ³	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
Sistema Inglés	Sistema métrico	
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 ² = 100 mm ²	0.15	in ²
1 m ² = 10 000 cm ²	1.19	yd ²
1 hectárea (ha) = 10 000 m ²	2.47	acres
1 km ² = 100 ha	0.38	mi ²
Sistema Inglés	Sistema métrico	
1 in ²	6.45	cm ²
1 ft ² = 144 in ²	0.09	m ²
1 yd ² = 9 ft ²	0.83	m ²
1 acre = 4 840 yd ²	4 046.90	m ²
1 milla ² = 640 acres	2.59	km ²

Volumen/capacidad

Sistema métrico	Sistema inglés	Siglas
1 cm ³	0.06	in ³
1 dm ³ = 1 000 cm ³	0.03	ft ³
1 m ³ = 1 000 dm ³	1.30	yd ³
1 litro (L) = 1 dm ³	1.76	pintas
1 hectolitro (hL) = 100 L	21.99	galones
Sistema Inglés	Sistema métrico	
1 in ³	16.38	cm ³
1 ft ³ = 1 728 in ³	0.02	m ³
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

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

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

Otros sistemas de unidades		Multiplicado por	Sistema Internacional de Unidades (SI)	
Unidad	Símbolo	Factor de conversión	Se convierte a	
Longitud				
Pie	pie, ft.,'	0.30	metro	m
Pulgada	plg, in,"	25.40	milímetro	mm
Presión/esfuerzo				
Kilogramo fuerza/cm ²	kg _f /cm ²	98 066.50	pascal	Pa
Libra/pulgada ²	lb/ plg ² , PSI	6 894.76	pascal	Pa
atmósfera técnica	at	98 066.50	pascal	Pa
metro de agua	m H ₂ O (mca)	9 806.65	pascal	Pa
mm de mercurio	mm Hg	133.32	pascal	Pa
bar	bar	100 000.00	pascal	Pa
Fuerza/ peso				
kilogramo fuerza	kg _f	9.80	newton	N
Masa				
libra	lb	0.45	kilogramo	kg
onza	oz	28.30	gramo	g
Peso volumétrico				
kilogramo fuerza/m ³	kg _f /m ³	9.80	N/m ³	N/m ³
libra /ft ³	lb/ft ³	157.08	N/m ³	N/m ³
Potencia				
caballo de potencia	CP, HP	745.69	watt	W
caballo de vapor	CV	735.00	watt	W
Viscosidad dinámica				
poise	μ	0.01	pascal segundo	Pa s
Viscosidad cinemática				
viscosidad cinemática	v	1	stoke	m ² /s (St)
Energía/ Cantidad de calor				
caloría	cal	4.18	joule	J
unidad térmica británica	BTU	1 055.06	joule	J
Temperatura				
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/s²

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

Volumen								
de / a	cm ³	m ³	L	ft ³	gal. EUA	acre-ft	in ³	yd ³
cm ³	1.000		0.001				0.061	
m ³		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 ³		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 ³	16.387		0.016		0.004		1.000	
Yd ³		0.765		27.000				1.000

Gasto								
de / a	l/s	cm ³ /s	gal/día	gal/min	l/min	m ³ /día	m ³ /h	ft ³ /s
l/s	1.000	1 000.000		15.851	60.000	86.400	3.600	0.035
cm ³ /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 ³ /día	0.012	11.570	264.550	0.183	0.694	1.000	0.042	
m ³ /h	0.278		6 340.152	4.403	16.667	24.000	1.000	0.010
ft ³ /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 ²	millones gal/día/acre	m/día	pie/s	Darcy
cm/s		1.000	21 204.78		864.000	0.033	
gal/día/pie ²			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

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	$^{\circ}\text{K}=5/9^{\circ}\text{Ra}$

Presión								
de	a	atmósfera	Kg/cm ²	lb/in ²	mm de Hg	in de Hg	m de H ₂ O	ft de H ₂ O
atmósfera		1.000	1.033	14.696	760.000	29.921	10.330	33.899
kg/cm ²		0.968	1.000	14.220	735.560	28.970	10.000	32.810
lb/in ²		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 ² /s	gal/día/pie	m ² /día
cm ² /s		1.000	695.694	8.640
gal/día/ft		0.001	1.000	0.012
m ² /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.

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 ₃
calcio Ca ⁺²	20.04	0.04991	1.1719	0.8533	2.4970
hierro Fe ⁺²	27.92	0.03582	1.6327	0.6125	1.7923
magnesio Mg ⁺²	12.16	0.08224	0.7111	1.4063	4.1151
potasio K ⁺¹	39.10	0.02558	2.2865	0.4373	1.2798
sodio Na ⁺¹	23.00	0.04348	1.3450	0.7435	2.1756
bicarbonato (HCO ₃) ⁻¹	61.01	0.01639	3.5678	0.2803	0.8202
carbonato (CO ₃) ⁻²	30.00	0.03333	1.7544	0.5700	1.6680
cloro (Cl) ⁻¹	35.46	0.02820	2.0737	0.4822	1.4112
hidróxido (OH) ⁻¹	17.07	0.05879	0.9947	1.0053	2.9263
nitrato (NO ₃) ⁻¹	62.01	0.01613	3.6263	0.2758	0.8070
fosfato (PO ₄) ⁻³	31.67	0.03158	1.8520	0.5400	1.5800
sulfato (SO ₄) ⁻²	48.04	0.02082	2.8094	0.3559	1.0416
bicarbonato de calcio Ca(HCO ₃) ₂	805.00	0.01234	4.7398	0.2120	0.6174
carbonato de calcio (CaCO ₃)	50.04	0.01998	2.9263	0.3417	1.0000
cloruro de calcio (CaCl ₂)	55.50	0.01802	3.2456	0.3081	0.9016
hidróxido de calcio Ca(OH) ₂	37.05	0.02699	2.1667	0.4615	1.3506
sulfato de calcio (CaSO ₄)	68.07	0.01469	3.9807	0.2512	0.7351
bicarbonato férrico Fe(HCO ₃) ₃	88.93	0.01124	5.2006	0.1923	0.5627
carbonato férrico Fe ₂ (CO ₃) ₃	57.92	0.01727	3.3871	0.2951	0.8640
sulfato férrico Fe ₂ (CO ₄) ₃	75.96	0.01316	4.4421	0.2251	0.6588
bicarbonato magnésico Mg(HCO ₃) ₂	73.17	0.01367	4.2789	0.2337	0.6839
carbonato magnésico (MgCO ₃)	42.16	1.02372	2.4655	0.4056	1.1869
cloruro de magnesio (MgCl ₂)	47.62	0.02100	2.7848	0.3591	1.0508
hidróxido de magnesio Mg(OH) ₂	29.17	0.03428	1.7058	0.5862	1.7155
sulfato de magnesio (MgSO ₄)	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. CaCO₃ = partes por millón de carbonato de calcio



ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1 Diagrama de flujo de un proceso típico para un sistema de tratamiento de aguas residuales. Se muestra el papel de las operaciones bioquímicas	3
Ilustración 1.2 Flujo de energía en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales (Moeller, Gabriela. 2011)	6
Ilustración 2.1 Diagramas de flujo de arreglos de filtros rociadores	19
Ilustración 2.2 Diagramas de flujo de filtros rociadores en dos etapas	20
Ilustración 2.3 Elementos de un filtro rociador	21
Ilustración 2.4 Medio filtrante: plástico	22
Ilustración 2.5 Medio filtrante: piedra	23
Ilustración 2.6 a) altura de un filtro rociador con medio de piedra y de plástico b) medio filtrante: madera	23
Ilustración 2.7 Sistema de drenaje	25
Ilustración 2.8 a) biomasa en reactor b) esquema básico de la biomasa fija	26
Ilustración 3.1 Medio filtrante	37
Ilustración 3.2 Ventilación natural en filtro rociador	39
Ilustración 3.3 Sistema de ventilación en el filtro	40
Ilustración 3.4 Distribución del gasto	41
Ilustración 4.1 Filtro rociador operando	45
Ilustración 4.2 a) Medio filtrante sin zooglea b) Medio filtrante con zooglea	45
Ilustración 4.3 Rearranque de filtro rociador, zooglea muerta	47
Ilustración 4.4 Mosca de los filtros	49
Ilustración 4.5 Distribución deficiente del gasto	50
Ilustración 7.1 Diagrama de cuerpo libre para la decantación de una partícula	68
Ilustración 7.2 Relaciones geométricas para unidades rectangulares	71
Ilustración 7.3 Sedimentador rectangular con rastras de cadenas con recolección de natas	72
Ilustración 7.4 Sedimentador rectangular con rastras de cadenas sin remoción de natas	73
Ilustración 7.5 Sedimentadores circulares	74
Ilustración 7.6 Charola de natas	74
Ilustración 7.7 Puentes viajeros.	75
Ilustración 8.1 a) Buen almacenamiento del gas cloro b) Mal almacenamiento	84
Ilustración 8.2 Pláticas al personal	85
Ilustración 8.3 a) Regadera de presión con lava ojos b) Uso de la regadera c) Uso de lava ojos	88
Ilustración 8.4 Carteles ilustrativos para el personal de seguridad laboral	90
Ilustración 8.5 a) Protección para la manipulación de sustancias tóxicas b) Aplicación de vacunas	93
Ilustración 8.6 a) Uso del equipo de oxígeno b) Tipo de equipo de oxígeno	96
Ilustración 8.7 a) Manguera de agua contra incendios b) Hidrante tipo toma siamesa	102
Ilustración 8.8 Tamaños y capacidades de extinguidores	103
Ilustración 8.9 a) Técnico electricista con equipo de seguridad b) Tablero eléctrico	105

Ilustración 8.10 a) Materiales de laboratorio b) Uso del laboratorio	106
Ilustración 8.11 a) Colocación de conos de precaución en áreas de riesgo b) Evitar fumar en el área de trabajo	107
Ilustración 8.12 a) Equipo de seguridad b) Trabajador usando el equipo de seguridad	109
Ilustración 8.13 Formas correctas de levantar objetos pesados	110
Ilustración 8.14 Situaciones de accidentes	111
Ilustración 8.15 Situaciones de accidentes	111

TABLAS

Tabla 1.1 Operaciones y procesos unitarios utilizados para eliminar la mayoría de contaminantes presentes en el agua residual (Metcalf y Eddy, 2003)	4
Tabla 1.2 Procesos biológicos frecuentemente utilizados en el tratamiento de aguas residuales. Adaptado de Crites y Tchobanoglous (2000)	5
Tabla 1.3 Eficiencias de remoción para la selección de los procesos de tratamiento. Adaptado de Metcalf y Eddy (2003)	7
Tabla 1.4 Remoción de microorganismos en diferentes sistemas de tratamiento (EPA, 1992* y Metcalf y Eddy, 2003)	7
Tabla 1.5 Fuentes y efectos de los principales contaminantes en las aguas residuales (EPA, 1992)	10
Tabla 1.6 Características típicas de aguas residuales municipales. Adaptado de Metcalf y Eddy (2003)	12
Tabla 1.7 Parámetros a evaluar en las aguas residuales. Adaptado de Metcalf y Eddy (2003)	12
Tabla 1.8 Frecuencias de muestreo (SEMARNAT, 1996)	15
Tabla 2.1 Elementos de un filtro rociador	22
Tabla 2.2 Información general sobre el diseño de filtros rociadores (WEF Manual of Practice No.8)	28
Tabla 4.1 Tasas sugeridas de SK para brazos distribuidores	44
Tabla 6.1 Problemas y acciones correctivas para el proceso de filtros rociadores incluyendo efectos en el sedimentador secundario	61
Tabla 7.1 Valores de cálculo recomendados para la carga hidráulica superficial y la profundidad del lado recto en sedimentadores secundarios	70
Tabla 7.2 Relaciones geométricas para unidades rectangulares	71
Tabla 7.3 Guía de problemas y acciones correctivas para sedimentación	76
Tabla 7.4 Guía para el mantenimiento de sedimentadores	78
Tabla 8.1 Productos químicos peligrosos en plantas de tratamiento	83
Tabla 8.2 Enfermedades biológicas producidas por la exposición a las aguas residuales	91
Tabla 8.3 Vacunas recomendadas por el sector de salud pública	92
Tabla 8.4 Tipos de fuego y extinguidores	102

