Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento

Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Pretratamiento y tratamiento primario

46



México
Gobierno de la República

Semarnat
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Conagua
Comisión Nacional del Agua

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento

Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario

Comisión Nacional del Agua

www.conagua.gob.mx

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento
Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales:
Pretratamiento y Tratamiento Primario

ISBN: 978-607-626-016-6

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
Introducción a la operación y mantenimiento de unidades de pretratamiento IX

1. Operación y mantenimiento de unidades de pretratamiento 1
1.1 Introducción 1
1.2 Obra de demasías 1
1.3 Cribado 2
1.3.1 Cribado por medio de rejas y rejillas 3
1.4 Cantidad de basura esperada en el cribado 15
1.5 Compactadores de basura 16
1.6 Problemas comunes y acciones correctivas en el cribado 17
1.7 Desarenado 17
1.7.1 Tipos de desarenadores 17
1.7.2 Cantidad de arena esperada 22
1.8 Remoción de grasas y aceites 23
1.8.1 Sistema de flotación por aire disuelto 23
2. Tratamiento primario 29
2.1 Introducción 29
2.2 Rejillas finas 29
2.3 Sedimentación primaria 30
2.3.1 Conceptos de sedimentación primaria 31
2.3.2 Descripción del proceso 32
2.3.3 Factores que influyen en la eficiencia 33
2.3.4 Estrategias de operación 36
2.3.5 Pruebas de control de procesos 38
2.3.6 Tipos de tanques de sedimentación primaria 40
2.3.7 Problemas comunes 42
2.3.8 Efectos de otras unidades con la eficiencia 42
2.4 Procedimientos de arranque y paro 45
2.4.1 Arranque del sedimentador primario 45
2.4.2 Paro del sedimentador primario 48

2.5 Deberes periódicos del operador 49
2.5.1 Operación 49
2.5.2 Requisitos de muestreo 49
2.5.3 Mantenimiento 51
2.5.4 Mantenimiento de registros 53
2.6 Solución de problemas 54
2.6.1 Procedimientos para la solución de problemas generales 54

Conclusiones del libro 59

Anexos 61

Bibliografía 67
Tabla de conversiones de unidades de medida 69
Ilustraciones 79
Tablas 81

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.


EMO
EMO
PRECAUCION
ZONA
DE MANIOBRA

Introducción a la operación y mantenimiento de unidades de pretratamiento

El pretratamiento de las aguas residuales tiene por objeto remover, reducir o modificar sólidos gruesos, medios y finos, arenas de cierto tamaño y peso específico, y en ocasiones grasas y aceites presentes en el agua residual, que pueden causar problemas operacionales o incrementar la frecuencia del mantenimiento de los equipos por desgaste o atascamiento.

El pretratamiento se logra separando del agua, por medio de operaciones físicas o mecánicas, la mayor cantidad posible de materias que por su naturaleza o tamaño ocasionarían problemas en tratamientos posteriores.

Es necesario realizar el pretratamiento para proteger los equipos de tratamiento (principalmente bombas, aireadores, etcétera) y tuberías, con el fin de evitar la entrada de objetos grandes, el desgaste de piezas por abrasión de arenas, dificultades en el tratamiento por grasas y aceites, y en general para conservar en buenas condiciones el sistema de tratamiento.

Por su parte, el tratamiento primario puede llevarse a cabo mediante la sedimentación primaria tradicional. En la actualidad, las rejillas finas pueden ser utilizadas para reemplazar al tratamiento primario en pequeñas plantas de aguas residuales de hasta 130 litros por segundo de capacidad de diseño, pero también se han utilizado para plantas de mayor gasto y han funcionado adecuadamente.

A lo largo de este libro se presentan algunas recomendaciones para operar adecuadamente y dar mantenimiento a los sistemas de pretratamiento y tratamiento primario con el objeto de garantizar buenos resultados y una prolongada vida útil de los sistemas.



1

Operación y mantenimiento de unidades de pretratamiento

1.1 Introducción

El pretratamiento de las aguas residuales tiene por objeto remover, reducir o modificar sólidos gruesos, medios y finos, arenas de cierto tamaño y peso específico, y en ocasiones grasas y aceites contenidas en el agua residual, que pueden causar problemas operacionales o incrementar la necesidad de dar mantenimiento a los equipos por desgaste o atascamiento con los materiales antes mencionados.

El pretratamiento se logra separando del agua, por medio de operaciones físicas o mecánicas, la mayor cantidad posible de materias que por su naturaleza o tamaño ocasionarían problemas en tratamientos posteriores.

Es necesario realizar el pretratamiento para proteger los equipos de tratamiento (principalmente bombas, aireadores, etc.) y tuberías, con el fin de evitar la entrada de objetos grandes, el desgaste de piezas por abrasión de arenas, dificultades en el tratamiento por grasas y aceites, y en general para conservar en buenas condiciones el sistema de tratamiento.

Las operaciones del pretratamiento son las siguientes: cribado (rejas, rejillas, microrrejillas), desarenado, y en ocasiones también se incluye la eliminación de grasas y aceites. En la Ilustración 1.1 se muestra un ejemplo del proceso. La mayor parte de las plantas de tratamiento cuentan con un cárcamo de bombeo posterior al pretratamiento.

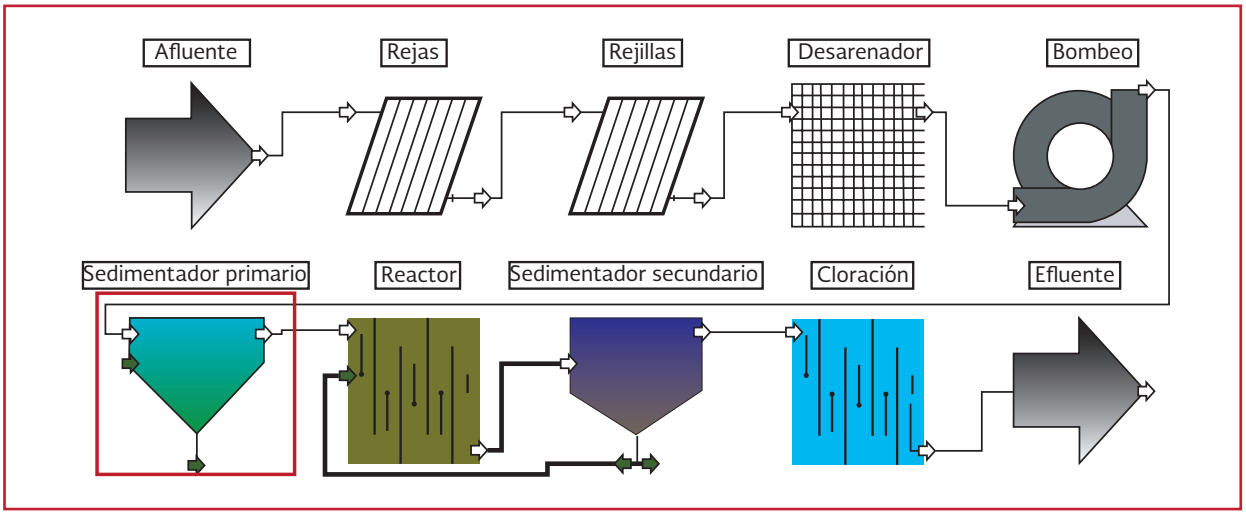
El agua residual pretratada usualmente se recibe en un cárcamo de bombeo que eleva el agua a las unidades posteriores al pretratamiento, tales como el tratamiento primario o el reactor biológico (Ilustración 1.2).

1.2 Obra de demasías

Generalmente estas estructuras funcionan de manera hidráulica por medio de vertedores o canales derivadores, calculados para el gasto máximo extraordinario de agua residual, vertiendo hacia el cuerpo receptor fuera de la planta. La operación consiste en controlar los niveles en vertedores de aguja y comprobar visualmente su funcionamiento.

En una planta de tratamiento de aguas residuales usualmente se coloca una estructura de llegada que incluye una obra de desvío (obra de demasías o bypass) para evitar la entrada de sobrecarga de contaminantes y sobreflujos al sistema de tratamiento.

Ilustración 1.1 Diagrama de flujo de procesos (las unidades de pretratamiento se ubican previo al bombeo)



Una obra de demasías es importante porque protege el sistema de tratamiento de sobrecarga de contaminantes que afectan la calidad del agua tratada, así como de excesos de flujos que disminuyen los tiempos de retención en las instalaciones y que "lavan" las unidades donde se llevan a cabo los procesos biológicos de tratamiento. En la Ilustración 1.3 se presenta un ejemplo de obra de desvío.

1.3 Cribado

La operación de cribado o desbaste se emplea para remover el material grueso, generalmen-

Ilustración 1.2 Cárcamo de bombeo de aguas residuales pretratadas



Ilustración 1.3 Obra de llegada y desvío (demasías o bypass) antes del desarenador en una planta de tratamiento de aguas residuales



te basura flotante o en suspensión, contenida en las aguas residuales crudas que pueden obstruir o dañar bombas, tuberías y equipos de las plantas de tratamiento o interferir con la buena operación de los procesos de tratamiento. El cribado puede ser grueso si se emplean rejas, medio con rejillas o fino si se usan rejillas finas.

1.3.1 Cribado por medio de rejas y rejillas

En las plantas de tratamiento las rejas gruesas se utilizan para impedir que sólidos de gran tamaño como piedras, troncos, pedazos de madera, trapos, botellas de plástico y en general toda clase de basura voluminosa acarreada por el sistema de alcantarillado, entre al sistema de tratamiento y dañe las rejillas subsecuentes.

Si se desea retener sólidos medios se utilizan rejillas cuya separación entre barras es menor. En general la separación entre las barras se define en función del tipo de basura presente en el flujo. En la Tabla 1.1 se muestra el tamaño de abertura entre barrotes para diferentes cribas. Las rejillas utilizadas en el cribado pueden ser de limpieza manual o automática. Su selección depende del caudal a tratar en la planta y de la cantidad de basura esperada. Si la limpieza no se realiza con frecuencia, la remoción de los sólidos atrapados puede provocar turbulencia cuando la velocidad de flujo es alta; una velocidad alta reduce la eficiencia de captura. Cuando un limpiador mecánico es operado intermitentemente, la interferencia con el flujo puede mantenerse a un nivel bajo.

1.3.1.1 Rejas y rejillas de limpieza manual

Las rejillas de limpieza manual tienen inclinaciones de 45 a 60 grados con respecto a la horizontal para facilitar la extracción de basura y reducir la tendencia a obstrucciones (Ilustración 1.4). Los utensilios y ropa de trabajo para los

Tabla 1.1 Tamaño de la abertura de las rejas y rejillas

Concepto	Rango	Comentarios
Aperturas de rejas retenedoras de basura	38 – 150 mm	Se usa frecuentemente en combinación con otros sistemas, el tamaño de las aperturas depende del equipo
Apertura de rejillas manuales	25 – 50 mm	Se usan en plantas pequeñas o en canales bypass
Velocidad de aproximación	0.30 – 0.60 m/s	
Rejillas de limpieza mecánica	6 – 38 mm	La apertura de 18 mm se considera satisfactoria para la protección de los equipos de los procesos siguientes
Velocidad de aproximación máxima	0.60 – 1.20 m/s	
Velocidad de aproximación mínima	0.30 – 0.60 m/s	Velocidad necesaria para evitar la acumulación de arenas
Rejillas continuas	6 – 38 mm	Este tipo de rejilla es conveniente con aperturas de 6 a 18 mm
Velocidad de aproximación máxima	0.30 – 1.20 m/s	
Velocidad de aproximación mínima	0.30 – 0.60 m/s	
Pérdida de carga admisible	0.15 – 0.60 m	
Triturador (reducción de tamaño solamente)	6 – 13 mm	Apertura de una función de la capacidad hidráulica de la unidad
Molino (reducción de tamaño solamente)	6 – 13 mm	En canal abierto
Pérdidas típicas	300 – 450 mm	
Tamiz fijo estático (rejilla fina)	2.3 a 6.4 mm	Aperturas menores a 2.3 mm son usadas en pretratamiento o tratamiento primario
Tamiz ajustable	0.02 a 0.3 mm	Poco utilizado en plantas municipales, solo en el efluente secundario

operadores que realizan la limpieza manual de las rejillas comprenden:

Equipo personal

- Casco de protección
- Lentes protectores
- Overol de trabajo
- Guantes de hule y de carnaza
- Botas de hule y de labor

Utensilios de trabajo y herramientas

- Rastrillo
- Cuchara de albañil
- Pala recta
- Carretilla manual

1.3.1.2 Rejas y rejillas de limpieza automática

El uso de rejillas con limpiadores mecánicos tiende a reducir los costos de operación y ofrece un flujo de mejor calidad, además de facilitar su operación, las rejillas de limpieza automática varían de 75 a 90 grados (Ilustración 1.5). El equipo mecánico se utiliza mayormente en plantas con gastos o flujos altos, pero también puede utilizarse en plantas medianas y ocasionalmente en plantas pequeñas. Para sistemas de drenaje combinado se prefiere el uso de rejillas con limpieza mecánica para la remoción de basura, debido a su capacidad para manejar grandes cantidades de desechos bajo condiciones de tormenta y debido a la rigidez de su estructura. La Ilustración 1.5 se muestra en un ejemplo de rejillas de limpieza automática.

En el mercado existen diferentes modelos de rejas y rejillas automáticas para diferentes caudales, con diferente espacio entre barrotes y variedad de profundidades y anchos de canal de colocación (tal como se muestra en la Tabla 1.2).

Ilustración 1.4 Rejas y rejillas de limpieza manual y su operación, respectivamente



Ilustración 1.5 Rejas y rejillas de limpieza automáticas



1.3.1.3 Rejas y rejillas de placas perforadas

Las rejillas de placa perforada proveen una eficiencia superior de separación en comparación con los tamices de reja. Se ha determinado que una perforación bidimensional es mejor que las rejas perforadas unidimensionalmente. Se evita que los sólidos retenidos rueden hacia abajo gracias a la inclinación del equipo y mediante rastrillos que se extienden de lado a lado del tamiz (Ilustración 1.6). Incluso latas y botellas son cepilladas y elevadas por los dispositivos (Ilustración 1.7). Los bordes laterales de las placas perforadas se encuentran montados sobre cadenas de transporte formando

Tabla 1.2 Rejas o rejillas automáticas para diferentes condiciones de instalación

Tipo de rejas y rejillas	Condiciones de utilización de rejas o rejillas automáticas			
	Caudal (m^3/h)	Profundidad del canal (m)	Ancho del canal (m)	Espacio entre barras (mm)
Curva	10 a 5 000	0.43 a 1.68	0.30 a 2.00	12 a 80 especial 3 a 10
De cremallera	100 a 10 000	1.50 a 5.00	0.60 a 2.00	12 a 80
De cables con rastrillo	100 a 15 000	2.50 a 10.00	0.60 a 4.50	12 a 80
De cables con garfio	1 000 a 40 000	2.50 a 10.00	1.50 a 5.50	12 a 100
Con escobilla sobre cadena sin fin	100 a 15 000	1.50 a 8.00	0.80 a 3.00	12 a 25 especial 3 a 10
De peines sobre cadena sin fin	500 a 30 000	1.50 a 6.00	0.80 a 4.00	10 a 60
De rastrillos sobre cadena sin fin	1 000 a 30 000	2.00 a 600	1.00 a 4.00	50 a 100

Ilustración 1.6 Sistemas de rejillas perforadas



Ilustración 1.7 Detalle de perforaciones en las placas



una correa. Las cadenas son accionadas por ruedas dentadas instaladas en un eje común que a su vez es accionado por un motor.

En la parte superior, donde las placas dan la vuelta, éstas son continuamente limpiadas por un cepillo que rota velozmente en contrasentido, lo que incrementa la eficiencia del limpiado. Este proceso es además complementado con atomizadores de agua de limpieza integrados.

El tamizado bidimensional provisto por las placas perforadas previene especialmente el paso de fibras, alcanzándose un máximo de eficiencia de separación.

Cabe hacer notar que las rejillas mecánicas siempre deben estar protegidas, aguas arriba, por rejas de barras más espaciadas, previstas generalmente para limpiarse manualmente (Ilustración 1.7).

La característica distintiva del sistema de limpieza por placas perforadas, en comparación a otros sistemas, es la eficiencia lograda mediante su configuración y un cepillo en rotación contra sentido de operación.

Otros sistemas requieren un raspador de rodillo adicional para remover el material retenido desde el borde de la tolva. Un cepillo en contrarrotación elimina este problema. Elementos plásticos de alta resistencia aseguran un sello adecuado entre los elementos de tamizado en movimiento y el marco de la máquina. La conexión entre el plástico y los elementos de tamizado están diseñadas para permitir un reemplazo rápido y fácil.

Los rodamientos de las ruedas dentadas sumergidas utilizados consisten en elementos cerámicos de alta resistencia y libres de mantenimiento, los cuales han demostrado su confiabilidad. Las cadenas del equipo están fabricadas en acero reforzado. Las cadenas y ruedas dentadas son electrogalvanizadas y cromadas en amarillo para una protección duradera, además se encuentran disponibles en acero inoxidable de manera opcional.

1.3.1.4 Rejillas de rastrillos múltiples

Diseñadas para uso en aplicaciones de alto volumen de procesamiento, la rejilla puede eliminar eficientemente grandes cantidades de basura con un funcionamiento continuo. La versatilidad de la rejilla hace que sea ideal para aplicaciones especiales desde la profundidad del canal en uso extremo y severo (ver la Ilustración 1.8).

Las rejillas son automáticas con auto-limpieza mecánica diseñadas para duras aplicaciones de cribado primario y secundario. Las rejillas se pueden fabricar de manera personalizada para adaptarse a los canales existentes.

Se instalan en anchos de canal de 45 cm a 245 cm y profundidades de más de 15 m. Los ángulos típicos van entre 75 y 85 grados. Las cubiertas completas y conductos de descarga que incluyen ayudan a un máximo control de olores. En la Ilustración 1.9 se muestra el esquema de funcionamiento de las rejillas.

1.3.1.5 Rejillas tipo escalera

La rejilla tipo escalera tiene un sistema de limpieza automática, la malla es fina y puede ser utilizada como tratamiento primario o para cribado de lodos en instalaciones municipales e industriales de tratamiento de aguas residuales. Las rejillas también son ideales para aplicacio-

Ilustración 1.8 Tipos de rejillas de rastrillo

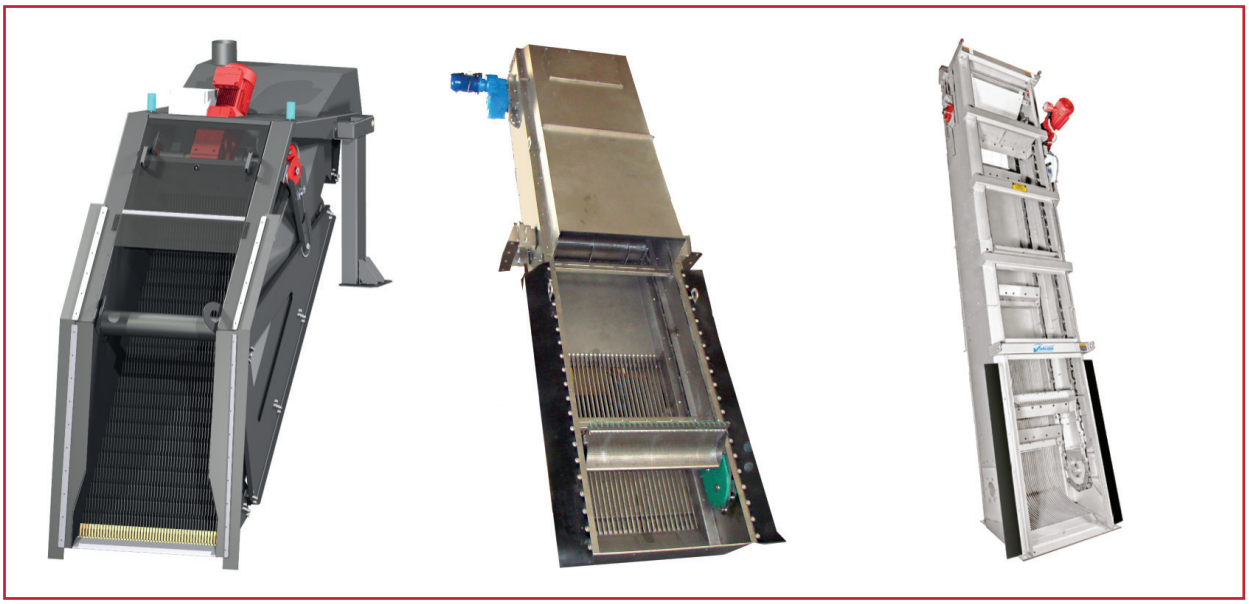
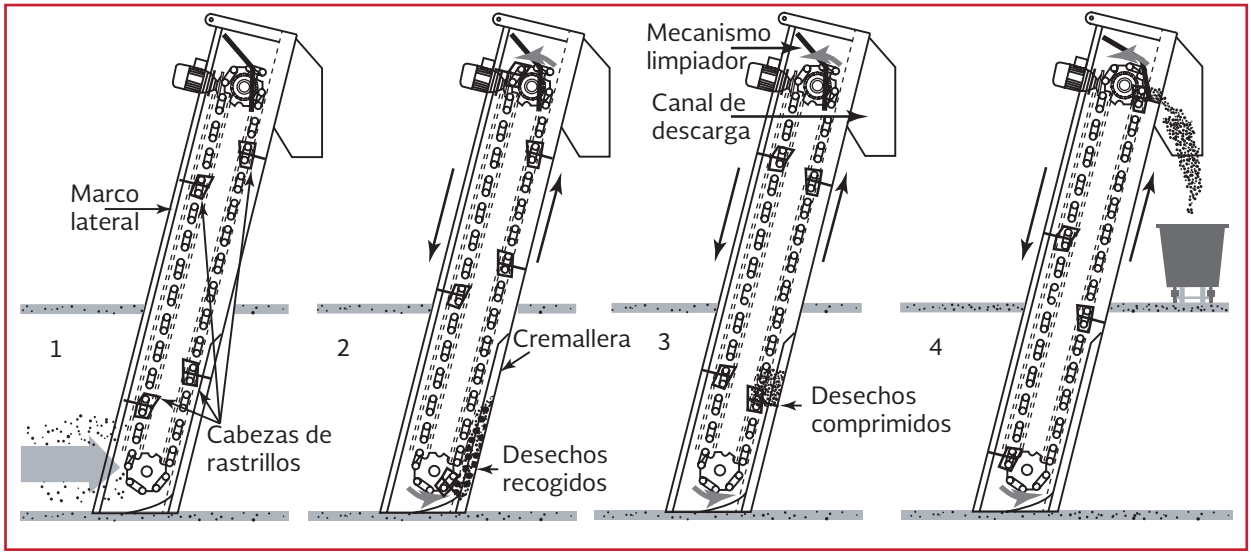


Ilustración 1.9 Esquematización del funcionamiento de las rejillas



nes industriales tales como rastros, cervecerías y fábricas de papel. El diseño de la rejilla de escalera permite una fácil colocación en instalaciones nuevas y existentes sin modificaciones al canal. Con un ángulo máximo de ajuste de 57º, la rejilla tipo escalera tiene un tamaño en general compacto (Ilustración 1.10).

Operación

La rejilla tipo escalera funciona con un sistema que alterna elementos fijos y móviles en forma de escalera y láminas que se extienden sobre toda la superficie de cribado. El espacio nominal entre los elementos de cribado es variable entre

Ilustración 1.10 Detalles de la rejilla tipo escalera



1/4" y 1/32"; los tamaños típicos incluyen aberturas entre 6 y 3 milímetros.

Los restos que se generan por la corriente de flujo se acumulan en la superficie de cribado para formar una masa. Esta masa actúa como un filtro para eliminar las partículas que de otro modo podrían pasar entre las láminas. Típicamente una masa de detección de espesor considerable puede ser formada debido a las características de baja pérdida de carga de este tipo de rejillas. Cuando el diferencial o alto nivel alcanza un nivel predeterminado, las laminillas móviles se activan. Las láminas móviles giran hacia arriba, levantan los escombros al siguiente nivel donde se encuentran las láminas fijas y, a continuación, giran de nuevo a su posición original. El sistema de tracción proporciona una positiva acción mecánica del dispositivo a lo largo de la rotación completa de las láminas movibles. Esto permite a la unidad conducir cualquier residuo que se pueda acumular debajo de la superficie de cribado.

Las láminas mueven los escombros de la zona de control en el canal a una zona de transporte por encima del piso de funcionamiento. El intermitente y lento progreso del canal a la descarga permite mover los escombros y arrojar el exceso de agua mientras que se suspenden en las láminas fijas. Una vez que los residuos alcanzan el último escalón se descargan a un transportador, un dispositivo posterior a la proyección, o a un recipiente adecuado. La rotación de las láminas móviles obliga mecánicamente a los desechos mantenerse fuera de la rejilla en el punto de descarga sin necesidad de pinceles o sistemas de spray (Ilustración 1.11).

1.3.1.6 Rejillas de banda

Las rejillas de banda son de una construcción cerrada, segura e higiénica con una puerta de acceso de fácil apertura. La rejilla de banda separa sólidos (sobrenadantes, basura) del líquido. Una banda de páneles perforados unidos filtra el líquido a purificar. El material separado es transportado hacia arriba y es descargado mediante cepillos al llegar al punto de descarga. El cepillo y sistema de limpieza mantiene las perforaciones evitando que se obstruyan (Ilustración 1.12).

Las rejillas de banda se instalan en canales (modelo simple flujo o flujo directo), o en cántaras

Ilustración 1.11 Operación de las rejillas tipos escalera

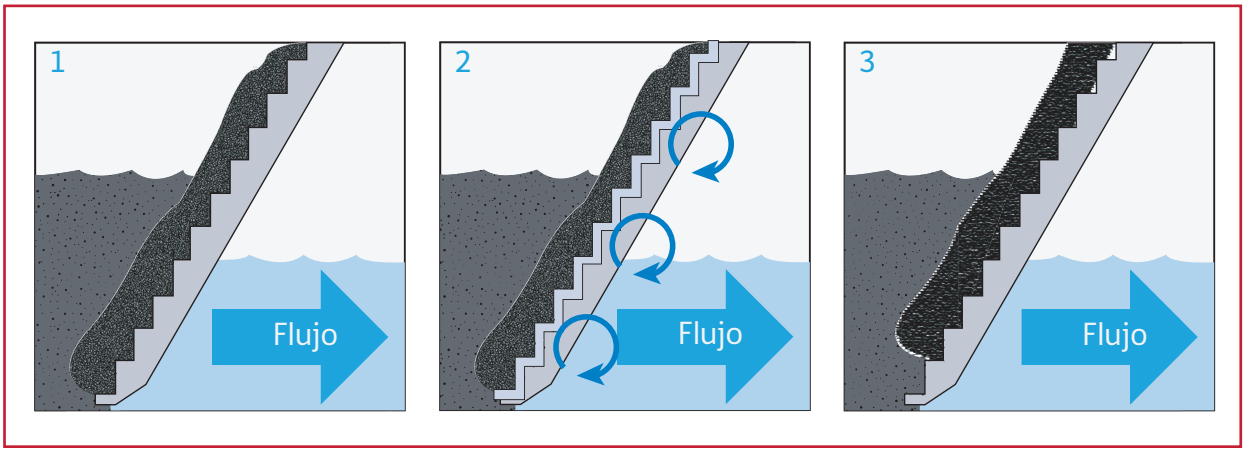


Ilustración 1.12 Rejillas de banda



(modelo doble flujo). La rejilla de banda está compuesta por los siguientes elementos.

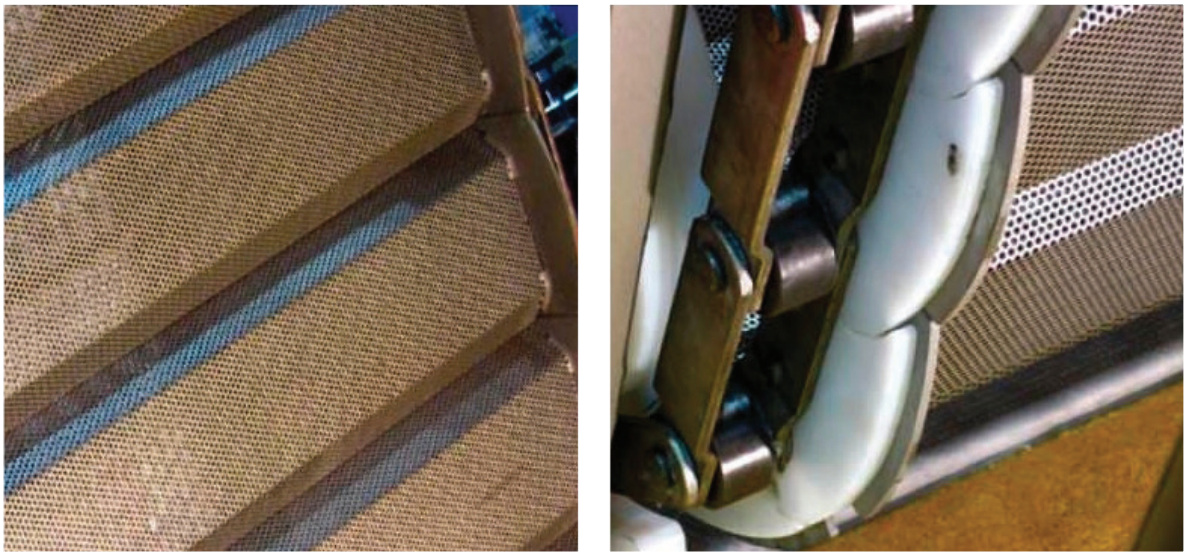
Estructura

La estructura de la rejilla de banda está compuesta por dos juegos de guías para las cadenas porta páneles. Cada juego está compuesto por una curva inferior y uno o varios tramos intermedios, arrastrando entre sí la guía de subida con la de bajada de un mismo tramo para guardar la correcta medida y alineación entre ambas (Ilustración 1.13).

Paneles filtrantes

Los marcos soporte de la malla filtrante son de construcción mecano-soldada, lo que ga-

Ilustración 1.13 Detalle de la estructura de la banda



rantiza un cierre entre ellos nunca superior a lo permitido por la luz de malla. Un larguero del marco está diseñado y dimensionado de forma que haga las veces de cangilón para permitir una extracción más efectiva de la broza hacia el canal de recogida previsto en el piso de maniobra.

Cadena porta páneles

La cadena principal es portadora de los marcos filtrantes y va provista de bulón y casquillo de acero con rodillos de deslizamiento en resina sintética.

La cadena se tensa desde la cabeza superior con un sistema tensor y va provista de cierres especiales para conseguir un cierre adecuado entre las partes móviles y la estructura estática.

Cabezal superior

El cabezal superior conecta con las guías de deslizamiento de la cadena principal y sirve de soporte para el conjunto de accionamiento de la rejilla de banda, así como para el tubo de lavado interno. Sobre él se instala el grupo de accionamiento, compuesto por un eje, un motorreductor y coronas de arrastre.

Tubo de lavado

La rejilla está equipada con un colector de lavado provisto de boquillas pulverizadoras.

1.3.1.7 Rejillas de tambor

Los tambores giratorios se presentan en forma de un cilindro horizontal que gira a gran velocidad, separando los sólidos del agua. La abertura de las rejillas para sólidos finos varía de 2.3 a 6.0 mm; es menos usual emplear tamices de 2.3 milímetros. Sin embargo, actualmente se usan aberturas menores de 2.3 mm en el pretratamiento o en el tratamiento primario. Los enrrejillados con tambores giratorios ayudan a incrementar la eficiencia de remoción en las plantas de tratamiento. El plato perforado y las barras de espacio cerrado normalmente tienen aberturas mayores a 0.02 milímetros.

Las mallas metálicas, al igual que las rejillas gruesas, se emplean cuando se requiere un tamizado muy fino. Las rejillas de tambor han encontrado su uso sobre todo en el tratamiento de aguas residuales industriales para afluentes que contienen fibras o pelusa (Ilustración 1.14 e Ilustración 1.15).

Operación

El flujo se bombea a la bandeja de distribución de donde se dirige al tambor giratorio. Las aguas residuales pasan a través de la abertura en el tambor mientras que las rejillas siguen capturando desechos en la superficie del tambor. Las capacidades de flujo para cada unidad van desde 22 a 260 L/s con una rejilla de membrana de 2 milímetros. Las cejas dentro del tambor y rejillas transportan los desechos sólidos hacia el extremo de descarga del tambor (Ilustración 1.16 e Ilustración 1.17). Los residuos sólidos retenidos en las rejillas salen de la unidad y caen en un dispositivo contenedor. El ciclo del agua de pulverización es ajustable para garantizar el máximo rendimiento.

Ilustración 1.14 Rejillas de tambor





1.3.1.8 Rejillas tipo tornillo

En las rejillas de tipo tornillo, las aguas residuales fluyen a través de las aberturas perforadas en la cesta de cribado, mientras la basura se captura en la superficie de la rejilla. Cuando la señal de control selecciona un ciclo de limpieza, el eje gira en espiral y el pincel en la espiral limpia la canasta, posteriormente levanta hacia arriba la basura capturada. Los restos se acumulan y son finalmente elevados al cono de deshidratación donde se presionan; el exceso de agua cae fuera de las rejillas (Ilustración 1.18).

El exceso de agua, entra en el área de drenaje y se reintroduce a la corriente de flujo a través de una manguera flexible.

1.3.1.9 Rejillas estáticas

La aplicación de las rejillas estáticas en el tratamiento del agua residual municipal reduce la DBO y SST de 20 a 35 por ciento. De esta forma, el uso de esta rejilla es común para el

Ilustración 1.15 Rejillas de tambor (Continuación)

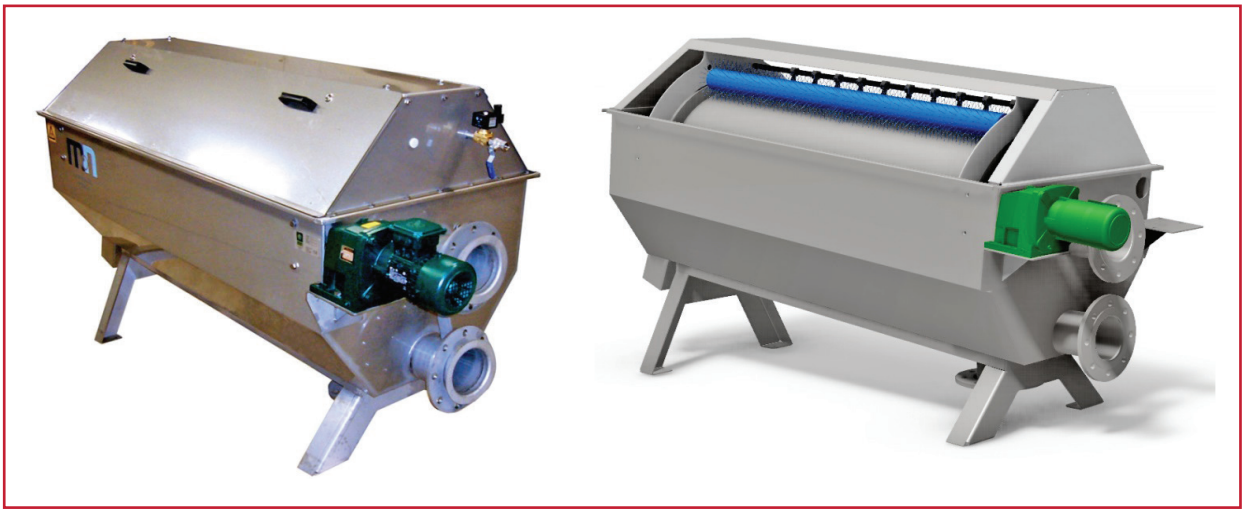
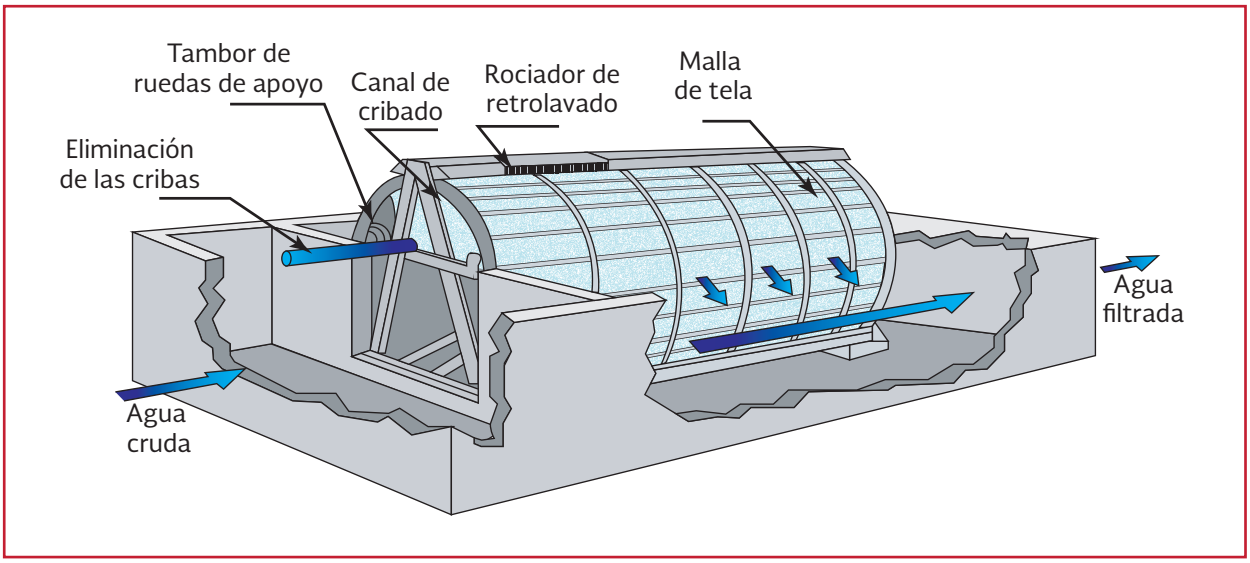


Ilustración 1.16 Tambor giratorio



pretratamiento, considerándose en algunos casos como un tratamiento primario. Sin embargo, su uso requiere de un estudio detallado y una comparación de la calidad del tratamiento con otros operaciones unitarias.

Se emplean platos perforados, mallas metálicas o rejillas de pequeña abertura. Las aberturas van de 0.2 a 1.2 mm, el rango de operación es de 400 a 1200 L/(m^2 min) y las pérdidas de carga que provocan son de 0.8 a 2.0 metros. En la Ilustración 1.19 se presenta este tipo de rejillas.

La rejilla estática (Ilustración 1.19) ha sido usada en sustitución de la sedimentación primaria para la remoción de los sólidos presentes en el agua residual antes del tratamiento secundario. También se emplean en sistemas de tratamiento sin sedimentación primaria, que han tenido problemas de obstrucciones, para mejorar los procesos subsecuentes.

Ilustración 1.17 Funcionamiento de la rejilla de tipo tambor

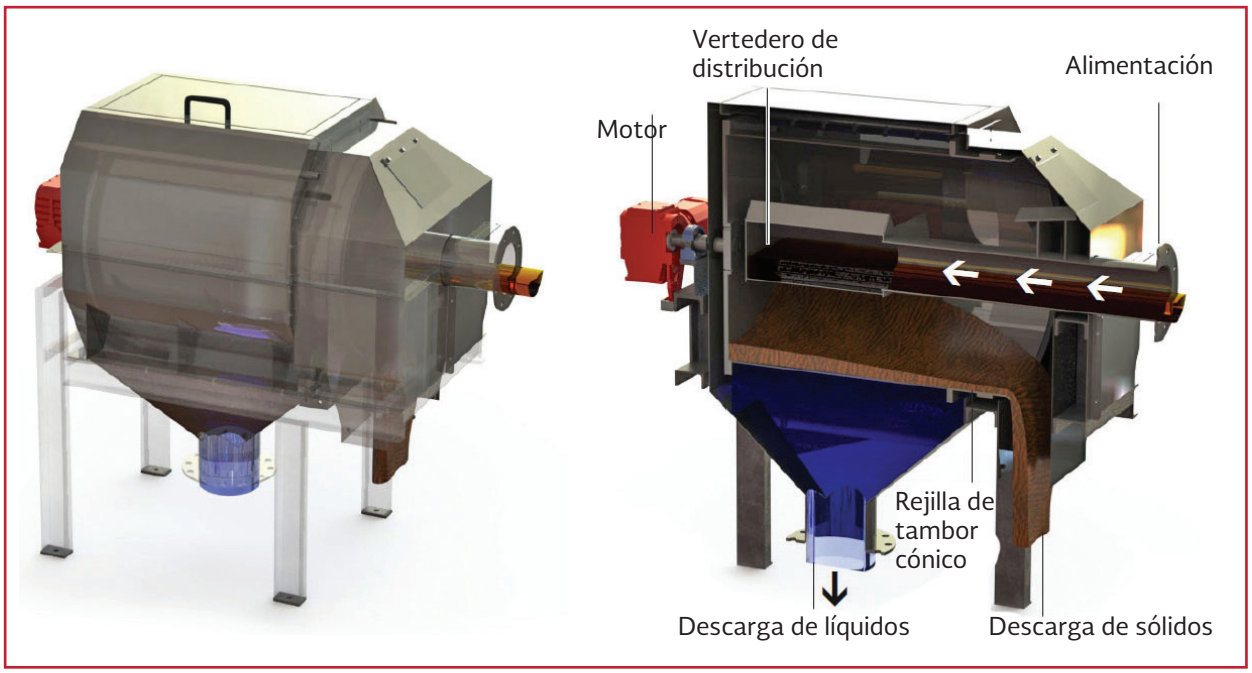
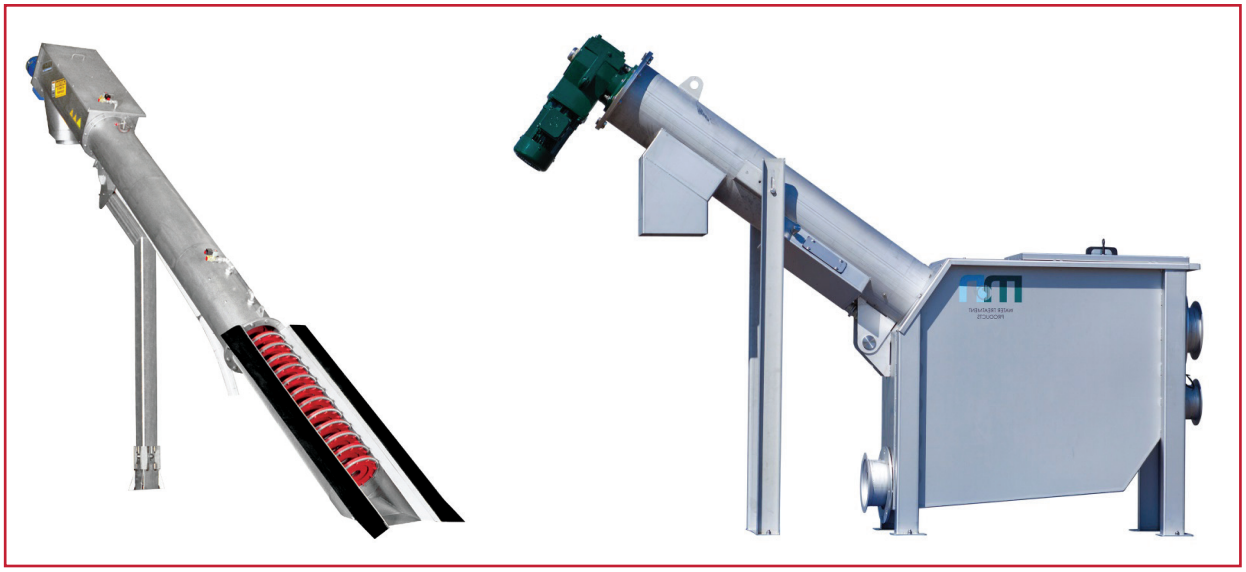


Ilustración 1.18 Tipos de rejillas de tornillo



Operación y mantenimiento

Su operación consiste en verificar el buen estado de la criba estática y su mantenimiento en retirar la basura acumulada por lo menos una vez al día en cada turno de operación.

1.3.1.10 Microrrejillas

Son tambores rotatorios de baja velocidad (hasta 4 r/min) con retrolavado continuo, operan por gravedad, tienen aberturas entre 10 µm a 50 µm y se coloca la malla en la periferia del

Ilustración 1.19 Rejillas estáticas



tambor, requieren de chorros de alta presión, y mueven sólidos suspendidos totales de efluentes del sedimentador secundario y de lagunas de estabilización. Aunque su uso no es en el pretratamiento se consideró mencionarlas como parte complementaria al tema.

Las microrrejillas se utilizan para retirar sólidos menores de 50 μm, presentan la ventaja de requerir poco espacio y son especialmente aptas para remover objetos punzantes, pedazos de hueso y plumas de aves; por lo que se utilizan en sistemas de tratamiento de rastros avícolas, para remover objetos pequeños como semillas de chile, cascarilla de diversos granos, levaduras e incluso lodo granular de reactores anaerobios con mantos de lodos de flujo ascendente.

Operación y mantenimiento

Su operación consiste en verificar el buen estado de la criba y su mantenimiento en retirar la basura acumulada por lo menos una vez al día en cada turno de operación y limpiar semanalmente la microcriba con cepillo para evitar taponamientos de las rendijas.

1.4 Cantidad de basura esperada en el cribado

La cantidad de basura extraída en el cribado se cuantifica en volumen de acuerdo a la población servida y se mide en dm^3/(hab año). El volumen del material extraído en el cribado varía de acuerdo al sitio en el cual se localiza la planta de tratamiento, y es difícil de evaluar sin datos de operación de la planta de tratamiento. La cantidad de residuos depende de la abertura de la rejilla, flujo del agua residual a tratar y tipo de sistema de alcantarillado (Tabla 1.3).

De acuerdo con la abertura de la criba, para claros de 25 a 50 mm, el volumen de material eliminado por unidad de flujo o por persona es aproximadamente proporcional al tamaño de la abertura. Por cada 13 mm de reducción en el tamaño del claro, el volumen puede duplicarse.

Para rejillas con aberturas menores de 25 mm, el volumen eliminado puede incrementarse rápidamente conforme se reduce el claro de la abertura. Se estima que para rejillas con aber-

Tabla 1.3 Volumen de basura esperada de acuerdo a la abertura entre barras (Metcalf & Eddy, 2003)

Abertura entre barras (mm)	Contenido de humedad (%)	Peso específico (Kg/m³)	Volumen de basura (L/1 000 m³)	
			Rango	Típico
12.5	60-90	700-1 000	37-74	50
25	50-80	600-1 000	15-37	22
37.5	50-80	600-1 000	7-15	11
50	50-80	600-1 000	4-11	6

turas entre 30 y 50 mm, el volumen de desechos que remueven es de 2 a 5 dm^3/(hab año), mientras que para una rejilla de 15 a 25 mm el volumen se duplica.

En el caso de sistemas de drenaje combinado, la variación en la cantidad de material eliminado es muy grande a causa de los periodos de sequía y lluvia durante el año. El volumen obtenido también varía en relación con la longitud del sistema de alcantarillado. Esta condición se explica por el hecho de que en un sistema de colección largo los sólidos están más sujetos a la desintegración.

La composición de la basura es una consideración importante junto con el volumen para la disposición del material cribado. Ésta presenta una gran cantidad de material orgánico, el cual puede provenir de las plantas o animales. Una porción del material en los residuos es fácilmente degradada, mientras otra resiste a la descomposición bacteriana. Algunos materiales son, por si mismos, olorosos y otros adquieren el olor del agua residual.

La basura extraída contiene cerca del 80 por ciento de humedad con un peso de 640 a 960 kg/m^3. En el caso de que los residuos provengan de rejillas finas, el contenido de humedad puede ser mayor del 80 por ciento.

Los procesos más comúnmente empleadas para eliminar esta basura son la incineración y disposición en relleno sanitario.

1.5 Compactadores de basura

Los compactadores de basura utilizan un sistema para moler, lavar, compactar y deshidratar los desechos capturados por una rejilla. Una tolva aglomera los sólidos dejando un producto más compacto. La clave de la descarga compacta está en moler, romper trapos, plásticos, basura y elimina compuestos orgánicos suaves. La compactadora puede lograr reducir el contenido de sólidos secos hasta un 50 por ciento.

El material del suelo también queda compactado fuertemente, lo que permite que el sistema pueda reducir el volumen hasta un 95 por ciento.

El resultado es que se tiene un ahorro de tiempo y dinero, ya que puede tener un número mucho menor de contenedores de basura. La descarga compacta estará casi libre de contenido fecal y con poco olor y eliminará los problemas en cuestiones de seguridad, descargas antiestéticas, contenedores con fugas, los honorarios de residuos peligrosos que cobran los transportis-

tas y los rellenos sanitarios. La Ilustración 1.20 muestra un compactador en campo y un ejemplo de desecho compactado.

1.6 Problemas comunes y acciones correctivas en el cribado

Dentro del pretratamiento pueden presentarse problemas en el cribado. En la Tabla 1.4 se presenta el indicador u observación del problema, la causa probable del problema y la solución propuesta para rejillas de limpieza manual, rejillas mecánicas de limpieza automática, rejillas estáticas, tambores giratorios y microrrejillas.

1.7 Desarenado

El desarenado consiste en separar la arena de otras materias presentes en el agua, en especial material orgánico, de tal manera que la arena retenida no arrastre otras materias, lo cual, generalmente es muy difícil. La arena que se extrae contiene siempre una cierta proporción de materia orgánica que sedimenta al mismo tiempo.

La separación de estas materias se realiza en diferentes tipos de desarenadores tales como desarenadores longitudinales tipo Essen, de vórtice, aireados, de nivel constante en tanques cuadrados denominados tanques de detritus.

1.7.1 Tipos de desarenadores

1.7.1.1 Desarenadores longitudinales

En los desarenadores longitudinales, la velocidad del flujo se diseña de 0.30 m/s aproximadamente para sedimentar partículas de arena típicas de aguas residuales municipales.

Puede mejorarse el resultado mediante un lavado final de la arena. En general se espera un volumen anual de arena extraída de 5 a 12 L/habitantes.

Los canales desarenadores longitudinales, largos y estrechos que usualmente se limpian de una manera manual son utilizados comúnmente en plantas pequeñas y medianas. Generalmente los sistemas de tratamiento cuentan con un mínimo de dos canales para fines de opera-

Ilustración 1.20 a) compactador en campo; b) desecho compactado



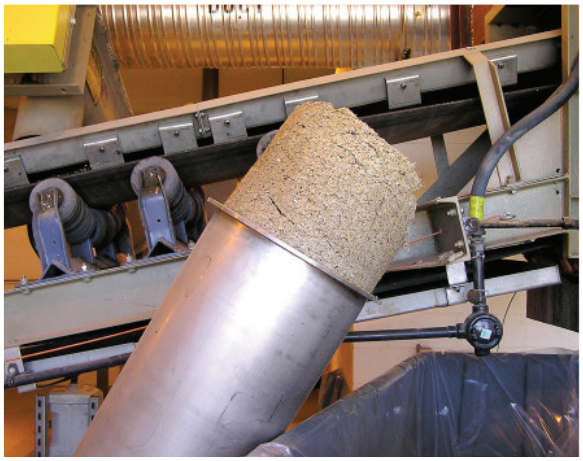


Tabla 1.4 Problemas y acciones correctivas en el cribado

Problema	Indicador /Observación	Causa probable	Solución
Rejillas de limpieza manual y automática			
Olores repugnantes, presencia de moscas y otros insectos	Acumulación de basura en la rejilla y contenedores	Falta de limpieza	Retirar la basura y aumentar la frecuencia de limpieza
Atascamiento excesivo de la rejilla	Cantidad inusual de basura en las aguas residuales	Aumento de los desechos	Identificar la fuente de los desechos causantes del problema
		Frecuencia de limpieza inadecuada	Aumentar la frecuencia de limpieza
Rejillas de limpieza automática			
Mecanismo atascado	Rastrillo mecánico saturado y el interruptor del circuito no se reinicia	Basura acumulada en el cable o cadena	Remover la obstrucción y ajustar la tensión del cable o cadena
			Aumentar la frecuencia de limpieza
Rastrillo parado, pero el motor trabaja	Revisar Catarina	Catarina rota	Identificar la causa de la ruptura, reemplace la Catarina, la cadena o el cable
	Revisar cadena	Cadena o cable roto	Remplace el Interruptor
	Revisar el interruptor dañado	Interruptor roto	
Rastrillo sin trabajar, problema no visible	Verificar los circuitos del interruptor	Circuito de control remoto dañado	Remplazar circuito o el motor
Mucho ruido al accionar el mecanismo	Marcas de metal contra metal en la cubierta de la rejilla	Ajuste de la rejilla	Ajustes recomendados por los fabricantes en el manual de O&M
Rejillas estáticas			
Olores repugnantes, presencia de moscas y otros insectos.	Acumulación de basura en la rejilla y contenedores	Falta de limpieza	Retirar la basura y aumentar la frecuencia de limpieza
Atascamiento excesivo de la rejilla	Cantidad inusual de basura en las aguas residuales	Aumento de los desechos	Identificar la fuente de los desechos causantes del problema
		Falta de limpieza	Aumentar la frecuencia de limpieza
Mecanismo atascado	Acumulación de basura en la rejilla y contenedores	Basura acumulada en la rejilla	Remover la obstrucción y aumentar la frecuencia de limpieza
Tambores giratorios			
Olores repugnantes, presencia de moscas y otros insectos	Acumulación de basura en la rejilla y contenedores	Falta de limpieza	Retirar la basura y aumentar la frecuencia de limpieza
Atascamiento excesivo en la malla del tambor	Cantidad inusual de basura en las aguas residuales	Aumento de los desechos	Identificar la fuente de los desechos causantes del problema
		Frecuencia de limpieza inadecuada	Aumentar la limpieza con el rociador de retrolavado
El tambor no gira	Verificar la conexión del motor	Motor quemado	Retirar el motor y repararlo
El tambor gira lentamente	Verificar la polaridad y conexión del cableado eléctrico	Posible corto circuito	Ajustes recomendados por los fabricantes en el manual de O&M
Ruptura de la malla de tela	Malla de tela deteriorada	Exceso de horas trabajadas	Cambio de malla

Tabla 1.4 Problemas y acciones correctivas en el cribado (continuación)

Problema	Indicador /Observación	Causa probable	Solución
Microrrejillas			
Olores repugnantes, presencia de moscas y otros insectos.	Acumulación de basura en la rejilla y contenedores	Falta de limpieza	Retirar la basura y aumentar la frecuencia de limpieza
Mecanismo atascado	Acumulación de basura en la rejilla y contenedores	Basura acumulada en la rejilla	Revisar los mecanismos
			Remover la obstrucción y aumentar la frecuencia de limpieza

ción por labores de limpieza (Ilustración 1.21). Las plantas más grandes requieren limpieza mecánica.

Es común que los canales desarenadores terminen en un vertedor proporcional del tipo Sutro para mantener una velocidad constante, independientemente del tirante. Desgraciadamente requieren de una descarga libre por lo que están sujetos a grandes pérdidas de carga, cuando esto sucede se pueden colocar canales Parshall como controladores de velocidad que tienen pérdidas de carga menor.

Operación y mantenimiento

Su operación consiste en vigilar que el agua circule a baja velocidad (menor que 0.30 m/s), para dar oportunidad de que se sedimenten las partículas, y su mantenimiento consiste en retirar la arena del fondo, por lo menos una vez al día, cuando se realiza manualmente y en forma continua cuando se utiliza limpieza mecánica.

1.7.1.2 Desarenadores aireados

Este tipo de desarenadores se emplean para una remoción selectiva de arena. Son similares a los tanques de aeración con flujo en espiral. La corriente en espiral se genera por la acción de difusores de aire instalados en uno de los lados del tanque, a una altura de 0.6 a 0.9 m a partir del fondo.

Las partículas de arena presentes en el agua residual, al entrar al desarenador, sedimentan con diferente velocidad ya que ésta depende del tamaño, gravedad específica y la velocidad de rotación o agitación en el tanque. La rapidez de difusión del aire y la forma del tanque son parámetros importantes que deben ser considerados ya que gobiernan la agitación y la sedimentación de las partículas. La rapidez del aire se ajusta para crear una velocidad cercana al fondo, lo suficientemente baja para que sedimente la arena: mientras tanto, las partículas orgánicas, que son menos pesadas, son arrastradas fuera del tanque.

Generalmente, los desarenadores aireados, se diseñan para eliminar partículas de arena con gravedad específica de 2.5, retenidas en un tamiz de malla 65 (diámetro de 0.21 mm). Asimismo pueden eliminar eficientemente partículas más pequeñas al reducir la velocidad del aire.

El sistema debe estar controlado hidráulicamente ya que de no hacerlo la operación será deficiente. Este problema se soluciona colocando una mampara longitudinal cerca de la cámara

Ilustración 1.21 Canales desarenadores con limpieza mecánica





de colección de arena. La Ilustración 1.22 muestra un desarenador aireado.

Algunas de las ventajas de este tipo de unidades son:

- Puede utilizarse para adicionar reactivos, mezclando y floculando la materia contaminante antes del tratamiento primario
- Al ser aireada el agua residual, se reduce el olor y se remueve parte de la DBO y de los sólidos suspendidos totales. Presenta una pérdida de carga mínima
- Controlando la rapidez de aireación, se pueden alcanzar remociones de arena por arriba del 90 por ciento
- Permite la instalación de un desnatador o de un despumador
- Mediante el control de la difusión del aire puede eliminarse arena de un tamaño en específico

Operación y mantenimiento

Su operación consiste en revisar el buen funcionamiento de la distribución del aire dentro del tanque, para lo cual el operador deberá percatarse que no existan zonas muertas con una uniforme distribución de la efervescencia de las burbujas de aire, y su mantenimiento en realizar la adecuada extracción y disposición de la arena, por lo menos una vez al día.

En el arranque el operador enciende el aire y deja entrar el agua residual para evitar taponamiento de difusores, no se debe permitir que la arena quede sobre el difusor ya que complica la inspección de difusores y podrá dañarlos.

La operación de este sistema tomará muy en cuenta el control que se puede hacer de la aireación para controlar el tamaño de partícula a extraer y ayudar en la operación de extracción de la arena. La Tabla 1.5 señala los parámetros y

Ilustración 1.22 Desarenador aireado



rangos típicos de operación de los desarenadores aireados.

1.7.1.3 Desarenadores de vórtice

Este tipo de desarenadores trabaja con un flujo tipo vórtice y aprovecha las fuerzas centrífuga y gravitacional. El agua al ser tratada se introduce en forma tangencial cerca del fondo y sale en forma tangencial a través de la abertura en la parte superior del tanque. Dentro de la unidad se crea un vórtice libre en el cual el producto de la velocidad tangencial por el radio es constante. La fuerza centrífuga a la que es sometida una partícula en este campo de flujo es igual al cuadrado de la velocidad dividida entre el radio.

Dada la magnitud de la fuerza centrífuga cerca del punto de descarga, algunas de las partículas de acuerdo con su tamaño, densidad y fuerza de arrastre, son retenidas dentro del vórtice; mientras que otras son arrastradas fuera de la unidad. En resumen, la arena se queda en la unidad y las partículas orgánicas salen con el efluente. La arena se extrae por la abertura del fondo de las unidades o bien se succiona mediante una bomba de aire. Comercialmente se encuentran diversas variantes de desarenadores de vórtice, en la Ilustración 1.23 se muestra un desarenador tipo vórtice.

Operación y mantenimiento

Su operación consiste en revisar el punto de entrada y salida del desarenador observando que se

Tabla 1.5 Operación de los desarenadores aireados

Parámetro	Rangos típicos de operación
Velocidad transversal a la superficie	0.6 - 0.8 m/s
Relación profundidad: ancho	1.5:1 - 2:1
Suministro de aire	0.3 - 0.4 m^3de aire /m^3 de agua residual
Tiempo de retención	3 - 5 min (pico)
Cantidad de arena	7.5 - 75 mil L/m^3
Cantidad de espuma	0.5 - 45 mil L/m

Ilustración 1.23 Desarenador de vórtice





forme una adecuada rotación del manto líquido y supervisar el funcionamiento de los equipos mecánicos como paletas rotatorias y bombas de lodo, así como retirar la arena al menos una vez al día. Su mantenimiento consiste en conservar en buenas condiciones los equipos de extracción y lavado de arenas.

1.7.2 Cantidad de arena esperada

La cantidad de arena varía fuertemente dependiendo de:

a. Tipo de sistema de colección (separado o combinado)
b. Condiciones climáticas
c. Tipo de suelo
d. Condición y calidad de las alcantarillas
e. Tipo de agua residual
f . Uso de desmenuzadores
g. Proximidad con bancos de arena

La cantidad de arena y basura varía de 5 a 200 $m^3/(10^6$ m^3 de agua residual). El valor típico es de 30 m^3 de basura por cada millón de metros cúbicos de agua residual.

1.7.2.1 Disposición de la arena

Los métodos para la disposición final de la arena incluyen rellenos sanitarios, lagunas, suelos extensos e incineración. Debido a que la arena es estructuralmente estable, esta no causa problemas al disponerse en el suelo. Por otro lado,

la incineración es en ocasiones mejor que enterrar y cubrir la arena proveniente de una planta de tratamiento, siempre y cuando, no se dañe al medio ambiente. Ocasionalmente la arena extraída y lavada se utiliza para la construcción.

1.7.2.2 Problemas y posibles soluciones en desarenadores

La Tabla 1.6 presenta un resumen de los principales problemas que se encuentran en diferentes tipos de desarenadores, su indicador de mal funcionamiento, las causas probables y las posibles soluciones a dichos problemas.

1.8 Remoción de grasas y aceites

La remoción de grasas y aceites puede llevarse a cabo en sedimentadores primarios; también los sistemas de flotación por aire disuelto son utilizados para este fin.

1.8.1 Sistema de flotación por aire disuelto

El sistema de flotación con aire disuelto (DAF, por sus siglas en inglés), se realiza generando burbujas muy pequeñas con un promedio de diámetro de 20 micrones. Estas burbujas se adhieren tanto a los sólidos finos, materia en suspensión, microorganismos, precipitados de grasas y aceites, metales pesados, colorantes, proteínas, elementos orgánicos, etc., levantándolas y haciéndolas flotar en la superficie y permitiendo la clarificación en el fondo del tanque. En la industria usualmente se emplea el sistema DAF para separar grasas y aceites y obtener recuperación de subproductos (Ilustración 1.24). Esta forma de separación de sólidos, que se encuentran en forma de suspensión tiene infinidad de aplicaciones en la industria para recuperar sólidos valiosos, lo que evita su pérdida en el efluente industrial (por ejemplo la recuperación de fibras de celulosa en la industria papelera), o bien para clarificar el líquido reduciendo al máximo los sólidos en suspensión, de ahí su aplicación a plantas de tratamiento de aguas residuales.

La proporción de separación y flotación usando la tecnología DAF está dada por la velocidad de la elevación de las burbujas microscópicas que es de aproximadamente de 30 cm/min para burbujas con un diámetro de 20 micrones, en contraste con las velocidades de asentamiento de sólidos finos que es menor de 2.5 cm/minutos. Debido a la diferencia de densidades entre los sólidos suspendidos finos y el agua, la flotación es aproximadamente 12 veces más rápida que los procesos de separación clásicos.

En la práctica la fase líquida se somete a un proceso de presurización para alcanzar una presión de funcionamiento que oscila entre 2 y 4 atm, en presencia de suficiente aire para conseguir la saturación en aire del agua. Luego este líquido saturado de aire se somete a un proceso de despresurización llevándolo hasta la presión atmosférica por su paso a través de una válvula reductora de presión. En esta situación, y debido a la despresurización, se forman pequeñas burbujas de aire que se desprenden de la solución.

Los sólidos en suspensión o las partículas líquidas (por ejemplo aceites o petróleo) flotan ya que las pequeñas burbujas les obligan a elevarse hacia la superficie.

Tabla 1.6 Guía de problemas y soluciones para desarenadores

Problema	Indicador /Observación	Causa probable	Solución
Canal desarenador			
Exceso de arena en el efluente del canal	Unidad operando a velocidades excesivas	Velocidad de entrada excesiva	Reducir la velocidad de entrada
Arena acumulada en el fondo del canal desarenador	Arena y basura sumergida	Falta de limpieza	Limpiar el canal diariamente
			Remover la basura
Desarenador aireado			
Exceso de arena en el efluente del canal	Unidad operando a velocidades excesivas	Velocidad de entrada excesiva	Reducir la velocidad de entrada
Olor a huevo podrido en la cámara de arena	Formación de sulfuros de hidrógeno	Tiempo largo de extracción de la arena	Lavar la cámara con hipoclorito
Arena acumulada en la cámara	Basura sumergida	Falta de limpieza	Lavar la cámara diariamente
	Velocidad de flujo demasiado baja o cadena rota.	Verificar el equipo	Remover la basura
			Reparar el equipo
Corrosión del metal o concreto	Ventilación inadecuada.	Ventilación y pruebas para depósitos de lodos, sulfuros disueltos y totales.	Incrementar la ventilación, realizar reparaciones anuales y aplicar pintura
La arena removida es de color gris, huele, y se siente grasosa	Presión incorrecta en el desarenador ciclónico	Presión de descarga en el desarenador ciclónico	Mantener la presión del ciclón entre 4 y 6 psi (28 y 41 kPa) gobernado por la velocidad de la bomba
	Inadecuada velocidad de flujo del aire	Verificar la velocidad de flujo del aire	Aceite especificado en el manual O&M Incrementar la velocidad en la cámara de arena (1 ft/s) (0.3 m/s) generalmente óptimo a menos que las estrategias de operación sean velocidades bajas con lavados
	Velocidad del sistema de remoción de arena demasiado baja	Use tinta u objetos flotantes para verificar la velocidad	
Baja turbulencia en la superficie en la cámara	Difusores cubiertos con trapos o arena	Difusores	Limpie los difusores y verifique las rejillas como medida preventiva
Tasa baja de recuperación de arena	Erosión del fondo Aireación	Velocidad excesiva	Mantenga la velocidad cerca de 1 ft/s (0.3 m/s)
		Demasiada aireación	Reduzca la aireación
			Incremente el tiempo de retención usando más unidades o reduciendo el flujo de la unidad
Aumento de gasto en la cámara desarenadora	Problema en la bomba	Revisar controles de las bombas	Ajuste los controles de las bombas y controle los afluentes y las infiltraciones
Estado séptico con grasa y burbujas de gas en la cámara desarenadora	Lodos debajo de la cámara	Fondo de la cámara desarenadora	Lavar diariamente la cámara. Remover la basura Reparar las catarinas y bandas

Tabla 1.6 Guía de problemas y soluciones para desarenadores (continuación)

Problema	Indicador /Observación	Causa probable	Solución
Desarenador de vórtice			
Exceso de arena en el efluente del desarenador	Velocidad de entrada excesiva	Reducción del tiempo de retención	Reducir la velocidad de entrada
Arena acumulada en el desarenador	Falta de limpieza del desarenador	Acumulación de arena	Extracción de la arena
Arena de olor fétido	Presencia de materia orgánica en descomposición	Falta de limpieza de la cámara de arenas	Extracción de la arena
Falta de descarga en el afluente	Baja potencia de la bomba	Verificar tirantes hidráulicos	Aumentar la potencia de la bomba del afluente

Ilustración 1.24 Sistema de flotación por aire disuelto



1.8.1.1 Componentes de los sistemas DAF

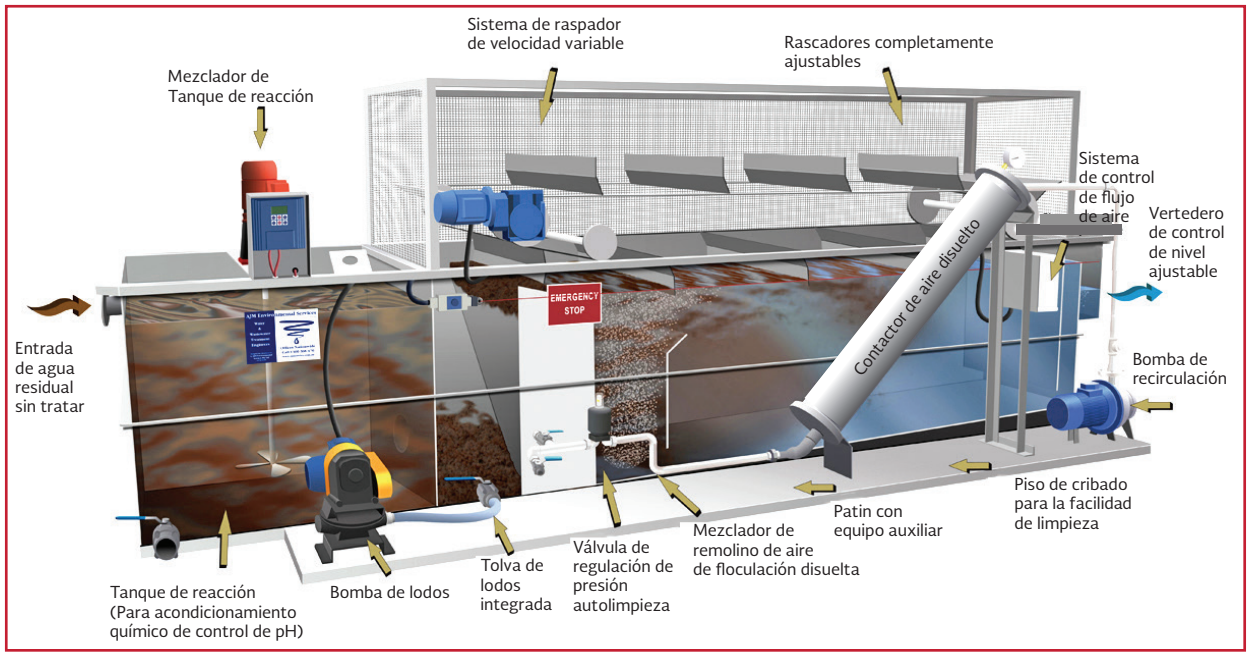
Los componentes básicos de un sistema DAF se muestran en la Ilustración 1.25 y son los siguientes:

- Entrada de agua residual
- Tanque de reacción
- Mezclador de tanque de reacción
- Bomba de lodos
- Sistema de raspador de velocidad variable
- Rascadores ajustables
- Tolva de lodos integrada
- Válvula de regulación de presión
- Mezclador de remolino de aire de floculación directa
- Bomba de recirculación
- Contactor de aire disuelto
- Sistema de control de flujo de aíre
- Vertedero de control de nivel ajustable

Cabe hacer notar que los sistemas DAF que se encuentran en el mercado son sistemas patentados con diferentes nombres comerciales, donde varía su operación dependiendo del fabricante.

Los sólidos en suspensión concentrados pueden separarse de la superficie por sistemas mecá-

Ilustración 1.25 Partes de un sistema de flotación por aire disuelto



nicos. El líquido clarificado se extrae cerca del fondo y parte del mismo puede reciclarse presentándose en el mercado sistemas con o sin recirculación (la Ilustración 1.26 e Ilustración 1.27).

En el campo del tratamiento de las aguas residuales, la flotación se utiliza para:

- Separación de grasas, aceites, fibras y otros sólidos de baja densidad, del agua residual
- Espesado de lodos provenientes de sistemas de lodos activados
- Espesado de lodos químicos provenientes de coagulaciones químicas
- Mejorar la calidad de los efluentes con sólidos en suspensión

Esta tecnología que aprovecha el principio de que la flotación es un fenómeno mucho más rápido que la sedimentación, requiere un espacio menor y un tiempo de retención muy breve, tiene esta ventaja para su aplicación en plantas de tratamiento de aguas residuales. En la Ilustración 1.28 y la Ilustración 1.29 se presenta el sistema DAF en funcionamiento.

Operación y mantenimiento

Su operación y la frecuencia de mantenimiento de cada una de las partes del sistema, depende del manual de operación y mantenimiento proporcionados por el fabricante y de la naturaleza del producto recuperado. El mantenimiento de todos los elementos del sistema DAF se debe realizar de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, o con mayor frecuencia si la experiencia actual muestra que es necesario.

Para el mantenimiento de la unidad DAF, las siguientes recomendaciones son una guía:

Ilustración 1.26 Variaciones al sistema DAF sin recirculación

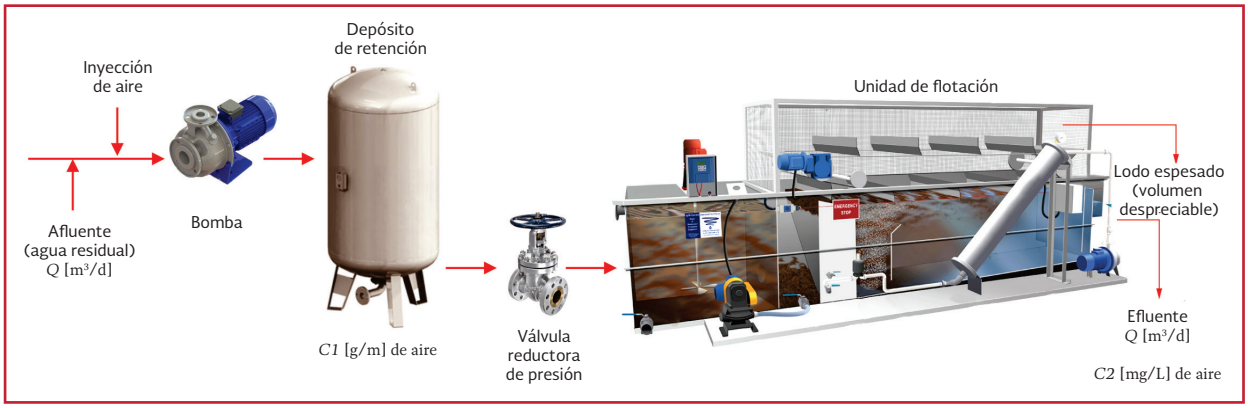
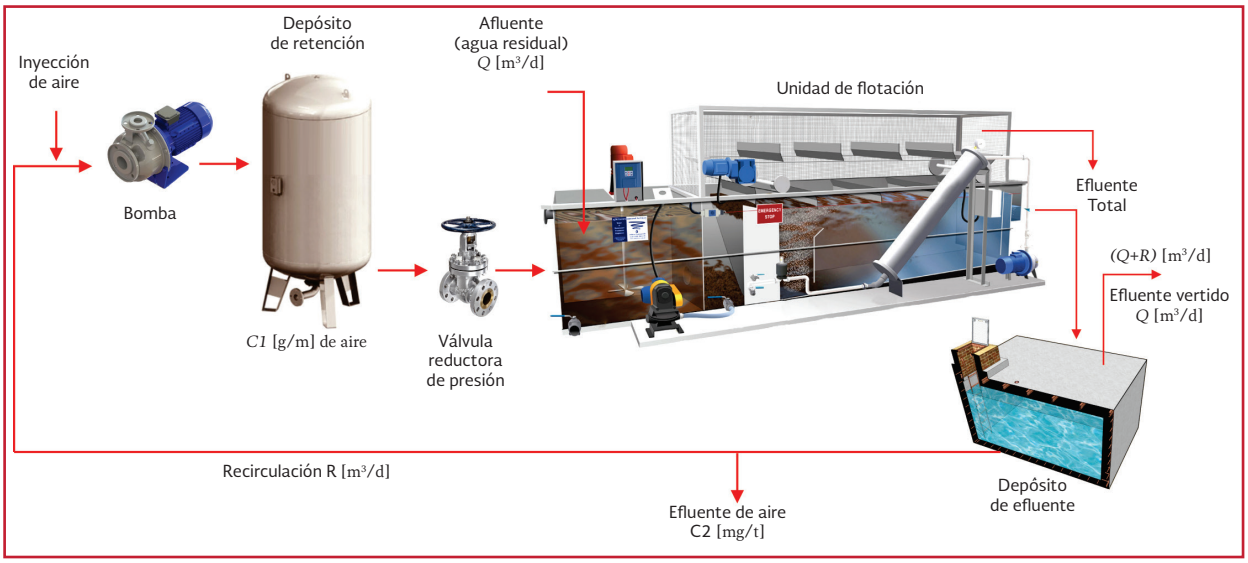
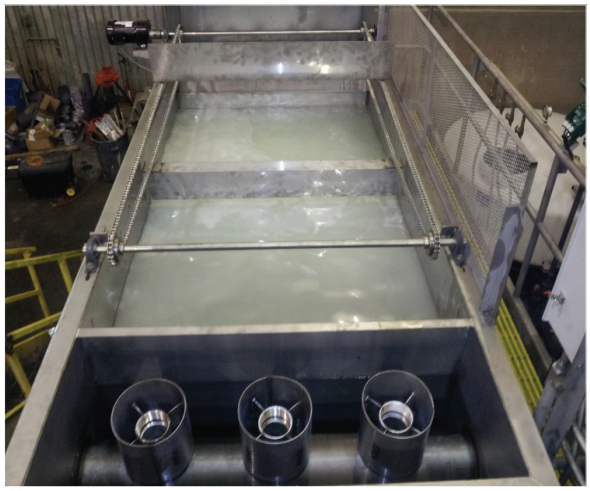


Ilustración 1.27 Variaciones al sistema DAF con recirculación



- Se debe drenar y limpiar periódicamente para evitar la acumulación de lodo y la mala formación de las microburbujas
- Evitar el arrastre de sólidos grandes
- Evitar el arrastre de objetos punzantes
- Deberá contarse con repuestos críticos para poner en marcha rápidamente el sistema en caso de una contingencia, minimizando con esto, el tiempo de inactividad

Ilustración 1.28 Sistema DAF en funcionamiento



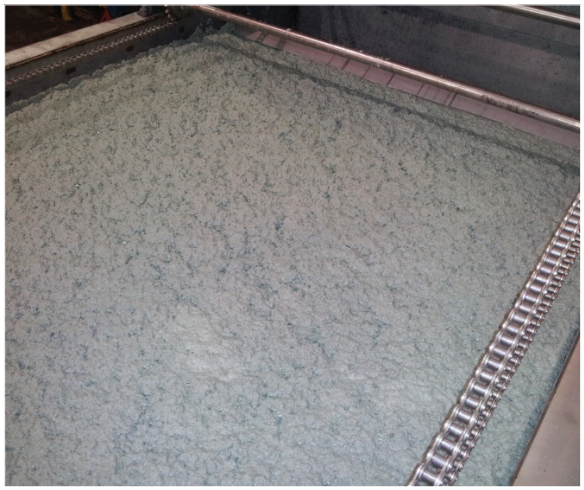


Ilustración 1.29 Sistemas de flotación por aire disuelto





2

Tratamiento primario

2.1 Introducción

De acuerdo con Metcalf y Edy (2003), el tratamiento primario puede llevarse a cabo mediante la sedimentación primaria como se ha realizado tradicionalmente. En la actualidad las rejillas finas pueden ser utilizadas para reemplazar al tratamiento primario en pequeñas plantas de aguas residuales de hasta 130 litros por segundo de capacidad de diseño; sin embargo, en la práctica se ha utilizado para plantas de mayor gasto, funcionando adecuadamente.

2.2 Rejillas finas

Se tiene un amplio espectro en la aplicación del pretratamiento después de las rejillas o bien pueden utilizarse para sustituir a los sedimentadores primarios, de acuerdo con la abertura de paso a través de ellas.

En ocasiones se colocan después del sedimentador primario para remover sólidos pequeños que pueden causar problemas de taponamientos en los filtros rociadores.

Las rejillas finas colocadas en el pretratamiento tienen aberturas de 0.2 a 6 mm y pueden ser rejillas estáticas, tambores rotatorios o tipo escalera, mientras que las rejillas que sustituyen al tratamiento primario tienen abertura de 0.25 a 2.5 milímetros. La limitante principal de estas unidades es la pérdida de carga, normalmente entre 0.8 y 2 metros.

En la Tabla 2.1 se presenta la eficiencia de remoción típica para rejillas utilizadas para sustituir sedimentadores primarios.

Las rejillas estáticas de malla que sustituyen a los sedimentadores primarios se construyen con aberturas entre 0.2 y 1.2 mm y se diseñan para gastos entre 400 y 1200 L/(m^2 min) de área de rejillas. Se requiere un área superficial para colocarlas y su operación consiste en realizar una o dos limpiezas diarias con agua caliente a alta presión para que los orificios se destapen y funcionen nuevamente. En ocasiones es necesario limpiar con desengrasador ya que la grasa puede obstruir los orificios que son muy pequeños.

En los últimos años, la sedimentación primaria ha sido sustituida por las rejillas finas, principalmente las rejillas estáticas de limpieza hidráulica cuyo costo de construcción es mucho menor, así como el área que se requiere para colocar la unidad también es considerablemente menor. Las rejillas estáticas de limpieza hidráulica pueden verse en el capítulo anterior de pretratamiento, en cribado (Ilustración 2.1).

Tabla 2.1 Remoción de DBO y SST en rejillas finas que pueden sustituir un sedimentador primario

Tipo de rejilla	Tamaño de abertura (mm)	Remoción de DBO y SST (%)	
Estática parabólica	1.6	5-20	5-30
Tambor rotatorio	0.25	25-50	25-45

Ilustración 2.1 Microcriba en sustitución de un sedimentador primario



Los tambores rotatorios que se utilizan para sustituir al sedimentador primario están equipados con una malla o medio de "filtrado" que rota en el cilindro del tambor. El paso a través de la malla atrapa los sólidos. Los tambores de alimentación interna se diseñan para gastos entre 30 y 800 L/s por unidad, mientras que los de alimentación externa se aplican a gastos hasta de 130 L/s (Laughlin y Roming, 1993). Las rejillas de tambores rotatorios se construyen en tamaños de 0.9 a 2 mm de diámetro y de 1.2 a 4 m de largo. Estos tambores pueden verse en el tema de cribado.

2.3 Sedimentación primaria

La sedimentación primaria, reduce la carga orgánica en los procesos de tratamiento de aguas mediante la eliminación de una gran cantidad de sólidos suspendidos, y materiales flotantes del afluente del agua residual.

Cuando se opera de manera eficiente la sedimentación primaria, típicamente puede remover hasta el 90 por ciento de los sólidos sedimentables, del 40 al 60 por ciento de los sólidos en suspensión y del 20 al 40 por ciento de la demanda bioquímica de oxígeno entrante al sedimentador. El porcentaje de estos componentes retirados en su planta puede ser diferente ya que cada planta es única y sus aguas tienen características particulares que pueden influir en las eficiencias mencionadas.

En una planta de tratamiento convencional de aguas residuales, el tratamiento primario por lo

general sigue alguna o todas las operaciones unitarias conocidas como pretratamiento. Algunas plantas pueden también ofrecer preaireación antes del tratamiento primario para mejorar la eliminación de arenillas, refrescar el agua residual, eliminar los gases, aumentar la flotación de la grasa, añadir oxígeno disuelto o mejorar la coagulación (Ilustración 2.2).

El tratamiento primario, reduce la velocidad de las aguas residuales a través de un sedimentador (con velocidades del agua de aproximadamente 30 a 60 cm/min) de modo que puede tener lugar la sedimentación y flotación. Esta desaceleración del flujo mejora la eliminación de los sólidos en suspensión en las aguas residuales. Estos sedimentadores o tanques es donde el tratamiento primario se lleva a cabo. Los tanques de sedimentación primaria eliminan la grasa y aceites flotantes, eliminan los sólidos como lodos asentados y los recoge para la transferencia por bombeo hasta su tratamiento.

La sedimentación primaria también puede servir como una forma de dilución o como homogenizador de flujo, cuando la instalación recibe de agua residual concentrada o tóxica. El observar regularmente estos tanques sedimentadores puede proporcionar una alerta temprana eficaz que puede ayudarle a preparar o proteger los procesos posteriores.

La sedimentación primaria ofrece un efluente más claro y una preparación de las aguas residuales más coherente para procesos biológicos, físicos o químicos de tratamiento adicionales.

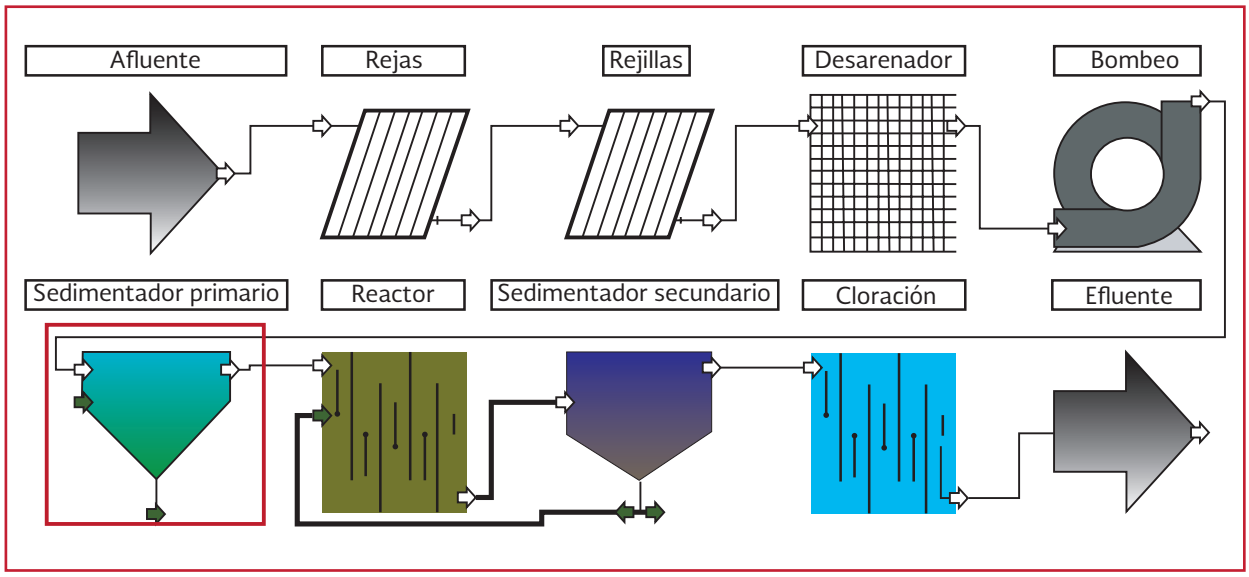
2.3.1 Conceptos de sedimentación primaria

Cuando se reduce la velocidad, los sólidos que son más densos (más pesados) que el agua, se depositan en el fondo. La gravedad es la fuerza de trabajo. El gasto y la velocidad de flujo son los factores que influyen en la eficiencia de los tanques primarios.

2.3.1.1 La carga superficial

La carga superficial es el parámetro más importante en los sedimentadores, es una medida del gasto en relación con el área de la superficie to-

Ilustración 2.2 Ubicación del sedimentador primario en una planta de tratamiento



tal disponible para el proceso y se expresa como metros cúbicos por día por metro cuadrado de área de superficie del tanque.

$$CHS\left(\frac{m^3/d}{m^2}\right)=\frac{Gasto(m^3/d)}{\text{Área del tanque}\,(m^2)}$$

Ecuación 2.1

Un tiempo de retención más largo y una menor carga superficial implican mayor eficiencia de remoción de sólidos. Si son demasiado largos y bajos, pueden ocurrir condiciones sépticas en el agua y tenerse problemas de flotación de lodos y malos olores.

2.3.1.2 Carga hidráulica sobre vertedores

La carga hidráulica sobre vertedores describe cuántos metros cúbicos de aguas residuales por día pasan en un vertedor de un metro lineal de largo.

$$CSV\left(\frac{m^3/d}{m}\right)=\frac{Gasto(m^3/d)}{\text{Longitud del vertedor}\,(m)}$$

Ecuación 2.2

2.3.1.3 Tiempo de retención

El tiempo de retención en horas, es el volumen del tanque primario multiplicado por 24 horas por día, dividido entre el gasto en metros cúbicos por día.

$$Tr(h)=\frac{Volumen(m^3)\,24(h/d)}{Gasto\,(m^3/d)}$$

Ecuación 2.3

2.3.1.4 Carga de sólidos

La carga de sólidos describe cuantos kilos por día de sólidos entran al sedimentador, por cada metro cuadrado de área.

$$CS\left(\frac{kg/d}{m^2}\right)=\frac{\text{Sólidos en el clarificador}(kg/d)}{\text{Área de la superficie}\,(m^2)}$$

Ecuación 2.4

2.3.1.5 Eficiencia de remoción de sólidos

Es el porcentaje de sólidos extraídos de los sedimentadores.

$$\eta(\%)=\frac{\left[\begin{matrix}\text{Sólidos entrada}\,(mg/L)\\ -\,\text{Sólidos salida}\,(mg/L)\end{matrix}\right]}{\text{Sólidos entrada}\,(mg/L)}\;(100\%)$$

Ecuación 2.5

2.3.2 Descripción del proceso

El afluente del agua residual en la mayoría de las plantas fluye normalmente a través de rejillas e instalaciones de eliminación de arena antes de entrar en el tratamiento primario. El flujo entra entonces en el tanque primario, donde permanece durante 1 a 3 horas. Durante este tiempo los sólidos sedimentables se hunden hasta el fondo de los tanques y los materiales flotantes suben a la superficie.

El flujo de agua residual se dirige al interior y se distribuye a través del tanque rectangular o circular, la velocidad de flujo a través del tanque es típicamente de 30 o 60 cm/min para permitir que los sólidos más pesados se depositen en el fondo. Sólidos sedimentados, llamados lodos primarios, se eliminan de los tanques mediante un sistema de colectores de lodos del fondo y las bombas de lodos primarios.

Los materiales flotantes, llamados espumas o natas, son retirados de los depósitos por un sistema colector de superficie que se conoce como charola de natas, para su transporte y disposición, (Ilustración 2.3).

Ilustración 2.3 Sistema desnatador con charola de natas



Los sólidos suspendidos o sólidos coloidales pueden pegarse o aglomerarse en partícula conocidas como flóculos o pueden absorberse sobre sólidos existentes o sobre material sedimentable, y también se depositan en el fondo.

El lodo primario resultante es una grasa de color marrón o gris, puede generar mal olor por la suspensión de sólidos sedimentados. La nata obtenida de la superficie de los tanques puede combinarse con el lodo. (Esta nata es por lo general sólo un porcentaje muy pequeño del volumen de lodos).

La adición química también puede emplearse para mejorar la sedimentación en tanques primarios, se han probado con éxito coagulantes inorgánicos, tales como sulfato de aluminio o cloruro férrico, o polímeros orgánicos. Para que la sedimentación sea mejor se requiere de una cámara rápida para la mezcla y floculación, la cual acondicionaría al flujo antes de introducirse al primario. La turbulencia en los canales del afluente puede ser suficiente para mezclar los productos químicos.

El tratamiento de lodos subsiguiente puede verse afectado por un aumento del volumen de lodo químico. El producto químico puede mejorar o interferir con el tratamiento de lodos. A este sistema se le conoce como tratamiento primario avanzado. Las provisiones para coagulante o adición de polímeros a veces se proporcionan en las unidades de tratamiento primario para mejorar la sedimentación en las plantas sobrecargadas o durante períodos de caudales máximos extendidos. La mezcla rápida y floculación no se requieren necesariamente. El cloro también se puede agregar al afluente primario, la adición de cloro puede mejorar la aglomeración de grasa y mejorar la eliminación, así como la disminución del ácido sulfhídrico (H_2S) que ayuda a controlar olores. Un residuo de cloro, sin embargo, puede interferir con los procesos de tratamiento biológico secundario.

2.3.3 Factores que influyen en la eficiencia

2.3.3.1 Tiempo de retención

La duración de la sedimentación primaria que se diseñe es de importancia crítica. Si se proporciona muy poco tiempo de retención, el retiro del material no es suficiente. Si el tiempo es demasiado largo, se puede producir una condición

séptica que reduce la eliminación de lodos y puede causar problemas de olor y la reducción de la eficiencia en los procesos posteriores. Una buena decantación primaria requiere normalmente entre 1 y 3 horas. Dos horas es más común.

Dado que el volumen del tanque no cambia, el tiempo de retención sólo cambia cuando el flujo aumenta o disminuye.

Un aumento en el caudal provoca una disminución en el tiempo de retención y una disminución correspondiente en la remoción de sólidos. Se puede determinar el tiempo de retención hidráulica más exactamente, y ver sus cortocircuitos, mediante la realización de pruebas de trazadores.

2.3.3.2 Temperatura

El decantador primario se ve afectado por la temperatura de las aguas residuales. La sedimentación se produce de manera más eficiente en el agua más caliente. Aguas residuales más cálidas también pueden permitir que la grasa y aceites queden en suspensión.

El agua es más densa (las moléculas están más cerca) en el agua fría. Esto hace que sea más difícil para los sólidos que se asienten entre las moléculas. El agua caliente es menos densa y ofrece menos resistencia a la sedimentación por gravedad.

La sedimentación mejora durante el clima cálido, pero el lodo sedimentado también puede convertirse en séptico más rápido, si la remoción de lodos no se incrementa.

2.3.3.3 Características de aguas residuales

El tamaño de partícula, forma y densidad de los sólidos de las aguas residuales afluentes afecta a las tasas o velocidades de sedimentación.

Si el agua residual contiene grandes cantidades de sólidos finamente divididos, se reduce la eficiencia de sedimentación primaria que está diseñada para eliminar sólidos grandes y pesados.

Si las aguas residuales son viejas, rancias, sépticas, o casi sépticas cuando se llega a la sedimentación primaria, también se reduce la eficiencia. Las condiciones sépticas producen gases en los sólidos. Este gas puede empujar a los sólidos hacia arriba y reducir la velocidad de sedimentación.

Las condiciones sépticas causan que los sólidos vayan a la superficie en lugar de que se sedimenten en el fondo.

La cantidad y la calidad de los sólidos recirculados de otras unidades de proceso, como sobrenadantes o agua de lavado de filtros banda, dirigidos hacia el tanque primario también influyen en la eficiencia.

Los sólidos recirculados pueden perjudicar el funcionamiento de la sedimentación primaria a menos que se tenga un tanque extra para homogeneizar el gasto y la calidad del agua. Se debe recordar que los sólidos recirculados suelen concentrarse o volverse fuertes y pueden sobrecargar rápidamente a un clarificador así como tener un impacto en el rendimiento del mismo y todos los procesos posteriores.

Si el pH de las aguas residuales es inferior a 7 (ácido), los componentes como sólidos flotantes, grasa y espuma pueden permanecer en suspensión y entrar en el lodo o no ser eliminados del todo.

Las aportaciones de aguas residuales industriales pueden saturar a la unidad primaria; consistirá de material orgánico más concentrado que el sistema no pueda manejar, o contener materiales tóxicos que podrían viajar a través del tanque o entrar en el lodo. Cualquiera de estos hechos pudiera afectar negativamente la eficiencia final de la planta.

2.3.3.4 Cambios de flujo del afluente

El rendimiento de las unidades primarias se ve afectado negativamente por una amplia variación en el flujo. Si el afluente es abastecido por bombas con ciclos de encendido y apagado, se pueden generar corrientes, haciendo que el tiempo de retención pueda aumentar y disminuir. Estas variaciones de flujo tienden a levantar el material sedimentado manteniéndolo en suspensión o sacándolo fuera del tanque. El sedimentador primario puede manejar cierta variación del caudal afluente; por ello una planta se vería en problemas debido a un cambio de flujos en el día o en la noche, ya que no debe ser sometido a los períodos de alto flujo o bajo flujo. El caudal más estable o constante posible, es el mejor.

2.3.3.5 Características de la unidad

Las eficiencias de tratamiento primario disminuyen si la unidad no está diseñada ni construida correctamente.

Los problemas de diseño pueden incluir una unidad demasiado pequeña o demasiado grande para el flujo medio, o si las dimensiones del vertedero son incorrectas. Vertederos o deflectores incorrectos pueden permitir que parte del flujo pase demasiado rápido y se generen altas velocidades de arrastre, generando un corto circuito (Ilustración 2.4).

Otros problemas de la construcción pueden incluir que los muros no estén a nivel, válvulas con fugas o grietas estructurales. Instalar deflectores, así como revisar las fugas y grietas pueden mejorar el funcionamiento.

Ilustración 2.4 Vertedores en sedimentador primario



2.3.4 Estrategias de operación

2.3.4.1 Control de flujo

Controlar el flujo del afluente a través de suficientes tanques clarificadores primarios permite un tiempo de retención en el rango de 1 a 3 horas.

Este caudal controlado es el factor más importante que influye en la eficiencia de la unidad principal. Equilibrar este flujo para cumplir con su tiempo de retención óptimo y cargas superficiales, se puede lograr mediante la adición o eliminación de los tanques de servicio, estrangulación de válvulas para igualar el flujo, ajuste de las tasas de bombeo del afluente, o flujo de recirculación de otros procesos unitarios.

En general, es deseable operar con varios sedimentadores primarios y mantener su tiempo de retención aceptable al igual que su carga hidráulica superficial. Esto se realiza por las siguientes razones:

- Aumenta el tiempo de retención y disminuye la velocidad de carga de superficie, aumentando así la eficiencia de remoción
- Distribución de sólidos sobre un área mayor
- Mantener los tanques disponibles y en funcionamiento para absorber los aumentos repentinos en el flujo o las altas cargas (los tanques funcionan como de igualación del flujo y disminuyen efectos de toxicidad aguda)
- Reduce la corrosión al mantener las superficies metálicas sumergidas

Si uno o varios tanques se retiran de servicio para mantener los tiempos de retención y las cargas superficiales adecuadas, asegúrese de mantener los tanques llenos con el efluente de la planta y seguir con el uso de las válvulas y los accesorios de la unidad por lo menos una vez a la semana.

Recuerde ajustar las válvulas de entrada u otras estructuras para distribuir el flujo uniformemente a los tanques en funcionamiento. Esto asegura un tiempo y la carga superficial igual para todos los tanques que operan.

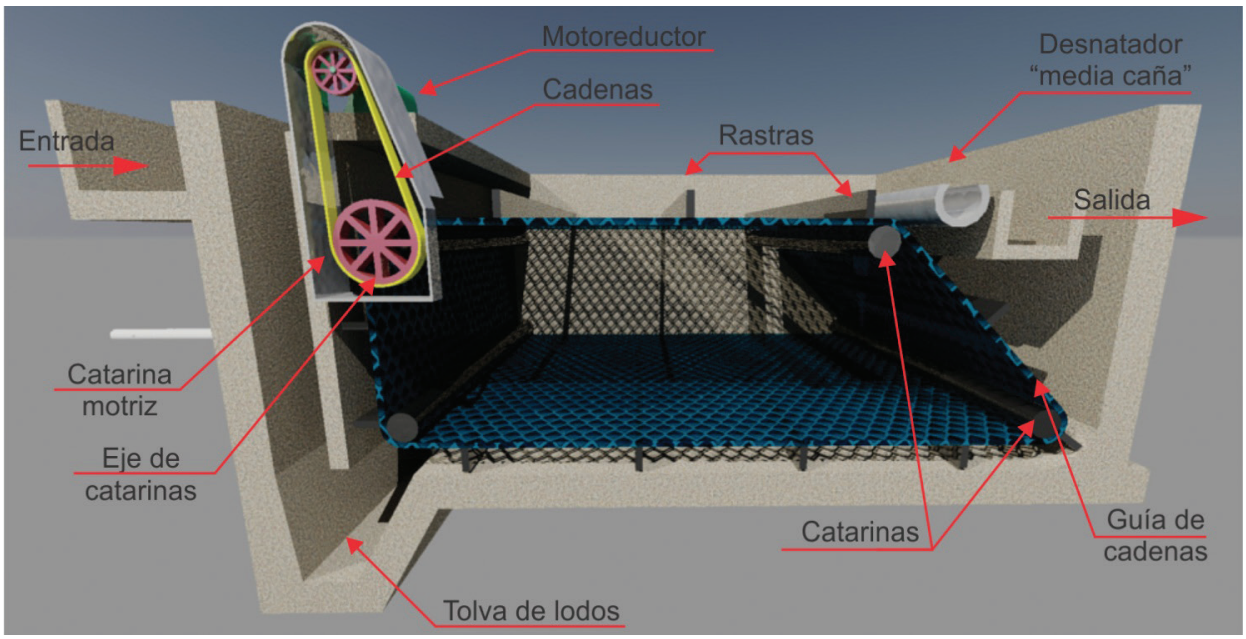
Del mismo modo, los vertederos de descarga de salida deben ser ajustados o nivelados subiendo o bajando la placa vertedora, ya que cuentan con orificios oblongos, para asegurar que las aguas residuales no canalicen un corto circuito a través del tanque. Un cortocircuito ocurre cuando un volumen de agua llega a través de un tanque en menos tiempo de lo esperado al tiempo de retención normal.

Los deflectores o mamparas también pueden ser instalados para asegurar un tiempo más largo, mantener el flujo y la retención estable, para evitar los cortocircuitos.

2.3.4.2 Recolección de lodos

Para un funcionamiento más eficiente de la extracción de lodos, el desaguado y bombeo de lodos deben ser tan frecuentes como sea posible y debe, al menos en teoría, reducir la producción de lodos. El equipo de recolección puede funcionar de forma continua o intermitente. La operación continua es la más común y permite la recolección de lodos, evitando la posibilidad de iniciar el equipo con el lodo acumulado. El funcionamiento intermitente permite una mayor recuperación de lodos mientras se reduce el uso de energía (Ilustración 2.5).

Ilustración 2.5 Sedimentador rectangular con rastras y cadenas para recolección de lodos y natas



2.3.4.3 Recolección de espumas

Se debe asegurar de que los materiales flotantes en la planta se retiraron y se quitaron con agua suficiente para permitir el flujo. Si no se eliminan, pueden acumularse, escapar por encima o por debajo de la mampara de efluentes, o causar malos olores. Opere el equipo rociador para eliminar espumas tan a menudo como sea posible.

2.3.4.4 La eliminación de lodos

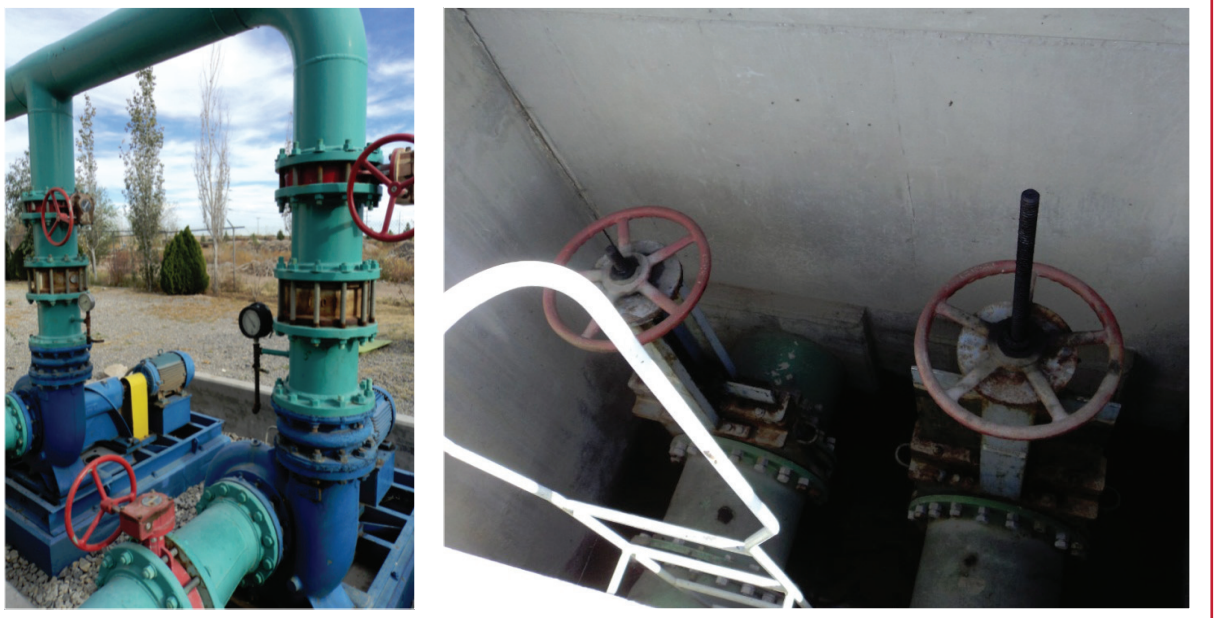
El lodo puede ser retirado por bombeo o por gravedad. En algunos tanques, los lodos se extraen por gravedad a través de una válvula telescópica ajustable a un cárcamo, del que se bombea. Esta disposición puede permitir a un operador controlar más exactamente la concentración de sólidos del lodo bombeado.

Una concentración de 5 por ciento de sólidos en la extracción de lodos es buena si el lodo se bombea a un digestor o unidad de deshidratación directamente. Menos de 5 por ciento es aceptable si el lodo se bombea a un espesador de lodos u otro proceso. Estos porcentajes pueden ser diferentes en cada planta, dependiendo de la unidad a alimentar y de las características del lodo.

El bombeo también puede ser continuo o intermitente. El bombeo continuo alimenta uniformemente el proceso de tratamiento de lodos. El funcionamiento intermitente permite el control de los mantos de lodo y puede funcionar de forma manual o automática por temporizadores o medidores de densidad de lodo que apaguen la bomba cuando el lodo se vuelve más fino. El funcionamiento de la bomba también puede ser programado entre varias bombas o mediante el uso de bombas de velocidad variable (Ilustración 2.6).

Lo ideal sería que los lodos fueran removidos por la operación de la bomba de lodos unas pocas horas cada día, coordinando el funcionamiento de la bomba con la operación del colector de lodos, y realizando un muestreo

Ilustración 2.6 Cárcamo de bombeo de lodos primarios y válvulas de extracción, respectivamente



para observar la densidad de los lodos. Recuerde que las bombas también suenan diferentes cuando el lodo se bombea.

El operador también puede estimar la cantidad de lodos para eliminar del sistema primario mediante la medición de sólidos suspendidos en el afluente y efluente, el porcentaje de remoción, el porcentaje de sólidos secos en el lodo bombeado, y el caudal primario. Con estos datos se estima la cantidad de lodos primarios producidos.

Una vez que se conoce el volumen apropiado, las bombas se pueden ajustar en consecuencia. Incluso los valores estimados pueden ser una guía útil. La estimación del volumen de los lodos bombeados puede ser aún más precisa observando los niveles de manto de lodos. No permita que los lodos se almacenen en un tanque primario intencionalmente. Cualquier lodo séptico resultante de esta operación tendría un efecto adverso en los procesos posteriores y producen un problema de olor grave.

2.3.5 Pruebas de control de procesos

Se describen brevemente algunas pruebas de control del proceso. Las que serán implementadas en la planta, dependerán de las características del agua residual y de que procesos de tratamiento sigan a la sedimentación primaria. Normalmente en la planta se tiene un laboratorio para las pruebas de control de procesos que incluyen los siguientes parametros (ver la Ilustración 2.7).

2.3.5.1 pH

El pH de las aguas residuales del afluente al primario puede proporcionar una alerta temprana. Un aumento o disminución repentina pueden indicar una descarga industrial inusual. Las lecturas del pH bajos, menores a 5.5 unidades de pH, pueden indicar que las aguas residuales pueden convertirse en sépticas en el sistema de recolección de desechos ácidos o de una industria. Estos valores bajos

Ilustración 2.7 Laboratorio para control de procesos



de pH permiten que las grasas y aceites queden en suspensión y puedan tener un impacto negativo en los procesos posteriores.

2.3.5.2 Grasas y aceites

El agua doméstica residual presenta valores de grasas y aceites entre 50 y 100 mg/L, las aguas residuales comerciales e industriales pueden presentar valores mayores a 150 mg/Litro. Cuando no se considera un sedimentador primario, es necesario que las grasas y aceites se remuevan desde el pretratamiento.

2.3.5.3 Demanda bioquímica de oxígeno

Es una medida útil de la concentración de materia orgánica en las aguas residuales o la fuerza orgánica aplicada a su proceso de tratamiento secundario, biológico. Se recomiendan muestras compuestas.

2.3.5.4 Sólidos suspendidos y sedimentables

Estos parámetros pueden utilizarse para determinar la eficiencia de remoción del sedimentador primario, para determinar la carga de sólidos a la siguiente unidad de proceso, y permitir determinar con más precisión el volumen de lodos para bombear.

2.3.5.5 Sólidos suspendidos totales y volátiles

Útil en la determinación de la concentración, cantidad, y tipo de sólidos en las aguas residuales del primario.

2.3.5.6 Sólidos de los lodos totales y volátiles

Proporcionan información sobre la carga de sólidos para digestores o unidades de deshidratación. Permite al operador cambiar con precisión las tasas de extracción de lodos, los volúmenes de eliminación correctas, y determinar si el exceso de agua se bombea a los digestores o unidades de deshidratación.

2.3.5.7 Frecuencia de la prueba de control de proceso sugerido

La siguiente guía general aparece sólo como una propuesta de programación. ¿Con qué frecuencia se deben realizar estas pruebas de control del proceso? Depende del tipo de planta que opere, el tipo de tratamiento primario que la planta emplee (observe la Tabla 2.2).

Tabla 2.2 Frecuencia de muestreo recomendada

Prueba	Ubicación	Frecuencia
pH	Afluente	Diario
	Efluentes	
Sólidos suspendidos y sedimentables	Muestra compuesta afluente	Diario
	Muestra compuesta efluente	
Demanda bioquímica de oxígeno	Muestra compuesta afluente	Diario
	Muestra compuesta de efluentes	
Lodos sólidos totales y volátiles	Lodos de salida	Diario
Aguas residuales totales y volátiles	Muestra compuesta afluente	Semanal
	Muestra compuesta de efluentes	
Grasas y aceites	Afluente	Mensual

2.3.5.8 Directrices generales

En la revisión, el operador debe tener en cuenta los siguientes conceptos básicos para gestionar adecuadamente las unidades primarias:

- Operar el número correcto de tanques para obtener el tiempo de retención y las cargas superficiales que maximizan la sedimentación de lodos y su eliminación sin permitir que se desarrollen condiciones sépticas
- Bombear el lodo concentrado tan a menudo como sea posible.
- Ajustar la eliminación de lodo en respuesta a cargas superiores o inferiores
- Observar visualmente los tanques primarios con frecuencia para asegurar un funcionamiento adecuado

2.3.6 Tipos de tanques de sedimentación primaria

Los sedimentadores primarios pueden ser rectangulares o circulares, ver Ilustración 2.8, y por lo general están diseñados para proporcionar de 1 a 3 horas de tiempo de retención. En un tanque con 2 horas de tiempo de retención, se

Ilustración 2.8 Sedimentador primario rectangular vacío y trabajando con desnatador media caña, respectivamente





pueden eliminar de 50 por ciento a 70 por ciento de los sólidos en suspensión por sedimentación o flotación. La eliminación de estos sólidos reduce la demanda bioquímica de oxígeno.

Todos los clarificadores primarios, independientemente de la forma, tienen un sistema de recolección de lodos y natas. En los tanques rectangulares, los lodos y espumas son colectados con rastras que suelen ser de madera, metal, fibra de vidrio o tablones, unidos a las cadenas.

Las rastras viajan en la superficie en la dirección del flujo, para empujar la grasa y sólidos flotantes a un canal de natas, las rastras continúan su viaje, caen por debajo de la superficie y vuelven al extremo del afluente del tanque a lo largo por la parte inferior, empujando el lodo sedimentado a una tolva.

En tanques circulares, las rastras están unidas a los brazos de rotación. Estos brazos giran lentamente y permiten que las rastras empujen el lodo sedimentado a una tolva de lodos situada en el centro de la parte inferior del tanque. Los brazos también tienen rastras en la superficie para recoger las natas.

Un medio menos común de recolección de lodos consiste en un puente móvil que se extiende por los tanques rectangulares y se desplaza a lo largo de corredores o guías, mientras que un sifón succiona los lodos cuando se activa por las diferencias de presión.

Las natas de la superficie son extraídas en todas las unidades y se descarga a un canal. El método para desnatar incluye un vertedero de inclinación que puede ser manual o automático con punta para extraer el material, una serie de colectores transversales que pueden empujar la espuma, mediante rastras en un tanque circular empujando la espuma a una charola de natas, además de la pulverización de la espuma con agua a presión (chorros apagadores de espuma).

Las unidades de accionamiento de los diversos medios de eliminación de lodos y natas pueden funcionar continuamente o pueden ser programados para funcionamiento intermitente. El lodo acumulado y la espuma se bombean a los procesos de tratamiento adicionales antes de su eliminación.

Los módulos tubulares o placas paralelas pueden ser utilizados para mejorar la eliminación de sólidos en tanques primarios. Estas unidades pueden ser insertadas en un tanque primario para mejorar la eficiencia, se componen de tubos paralelos o placas de PVC o un conjunto de metal en una inclinación de 30 a 60°. El agua residual fluye hacia arriba a través de estos tubos o placas, los sólidos se asientan a lo largo de las paredes inclinadas y caen al fondo del tanque. El uso de placas ha decaído debido a que se forma una biopelícula en ellas y se deben estar lavando continuamente, algo no deseable en la operación.

El efluente clarificado del primario sale del tanque mediante un vertedero. El vertedero debe ser lo suficientemente largo para permitir que el efluente primario pueda salir del tanque a una velocidad baja. Una velocidad demasiado alta del efluente puede recoger partículas de sedimentación en el fondo y arrastrar el material ya sedimentado hacia afuera del tanque, lo que reduce la eficiencia de los procesos.

2.3.7 Problemas comunes

En la Tabla 2.3 se observan los principales problemas que pueden suceder durante la sedimentación primaria y se plantea una solución simple que los operadores han encontrado útil aplicar, no obstante cada planta puede tener problemas particulares dependiendo del diseño, operación y mantenimiento, y sus soluciones deben ser evaluadas particularmente.

2.3.8 Efectos de otras unidades con la eficiencia

El éxito o el fracaso de cualquier operación unitaria tienen un impacto directo en las diversas operaciones unitarias del tratamiento a lo largo de la planta. Los operadores aprenden a anticipar el efecto de diferentes condiciones operativas en las operaciones unitarias posteriores. Los buenos operadores saben cuál será el resultado, ¿cuánto tiempo pasará antes de que se observe algún efecto, el tiempo o duración que tendrá el evento, y qué hacer para disminuir el impacto? Aquí, el rendimiento de las operaciones unitarias aguas arriba y aguas abajo se describen a medida que interactúan con la sedimentación primaria.

2.3.8.1 Procesos aguas arriba

La eficiencia de las operaciones unitarias anteriores puede tener un efecto sobre el desempeño de la sedimentación primaria. Esas operaciones unitarias anteriores consideradas aquí incluyen el bombeo del afluente, rejillas, desmenuzadores, desarenadores y rejillas finas.

Tabla 2.3 Problemas comunes de diseño

Problema	Solución	
1. Variaciones de flujo excesivas que causan la remoción de sólidos pobres o de lavado del tanque	1a	Colocar acelerador de velocidad constante en las bombas
	1b	Colocar varias bombas de velocidad constante de capacidad variable
	1c	Instalar un tanque de homogenización
	1d	Establecer un horario de reciclaje durante períodos de bajo flujo
2. Eliminación pobre de la grasa	2a	La preaireación puede aumentar la flotabilidad de la grasa
	2b	La adición de cloro puede aumentar la aglomeración de grasa
3. Los lodos contienen arena excesiva y causan problemas de eliminación así como el desgaste de los equipos	3a	Comprobar la velocidad en el desarenador. Ajuste la velocidad para mejorar la caída de la arenilla al cárcamo de bombeo
	3b	Inspeccionar el equipo de remoción de arena para verificar el funcionamiento correcto
	3c	Limpiar el desarenador
4. Un cortocircuito entre tanques causa una mala eliminación de los sólidos	4a	Instalar mamparas para difundir el flujo de manera uniforme a través del tanque
	4b	Colocar un deflector de entrada para dispersar el flujo del afluente
5. Sobrecarga de aguas negras	5a	Desviar fuertes flujos de recirculación de aguas residuales a otro proceso de la planta
6. Corrosión excesiva (Ilustración 2.9)	6a	Reducir la frecuencia de condiciones sépticas que ocurren. Se debe localizar la causa y elimínarla, si es posible
	6b	Cubrir superficies con pintura resistente a la corrosión
	6c	Instalar un sistema de protección contra la corrosión
7. Espumas que vuelan por el viento	7a	Colocar una barrera de bloqueo del viento con base en la dirección predominante

Ilustración 2.9 Problemas de corrosión



2.3.8.2 Bombeo del afluente

Las tasas o gastos constantes de bombeo del afluente garantizan un mejor tratamiento primario. Las fluctuaciones del caudal reducen la eficiencia del tratamiento primario.

Cuando los tanques primarios son drenados o puestos fuera de servicio por mantenimiento, el agua residual retrocede en la entrada. Los lodos de aguas residuales pueden acumularse generando problemas y provocando que lodos viejos pasen al tanque principal. La calidad del afluente del agua residual se degrada cada vez que se permite recircular flujos al cárcamo de bombeo.

2.3.8.3 Rejillas

Un ineficiente cribado puede permitir el paso de trapos y basura los cuales entran en el tanque principal. Este material puede obstruir las bombas de lodos y dañarlas. También puede romper los sólidos orgánicos pesados y hacerlos menos probables a sedimentar rápidamente. Los sólidos fragmentados pueden llegar al tanque.

2.3.8.4 Desmenuzadores

Al igual que las rejillas, su funcionamiento inapropiado permite a la basura obstruir las bombas de lodos. Los desmenuzadores pueden dividir tan finamente el material orgánico que la sedimentación se hace más lenta (Ilustración 2.10).

2.3.8.5 Desarenadores

Si la extracción de arena no es eficiente debido a una excesiva velocidad en el desarenador o remoción poco frecuente, la arena puede entrar en la unidad primaria. Si el lodo primario tiene demasiada arena y se bombea a un digestor, la arena puede depositarse allí, reducir el volumen del digestor y acortar los intervalos de limpieza.

Ilustración 2.10 Los desmenuzadores interfieren en la eficiencia del sedimentador primario



La adición de partículas de arena abrasivas al lodo primario aumenta los problemas de mantenimiento, debido al desgaste de la tubería y el desgaste del impulsor de la bomba, y puede obstruir las líneas de lodos.

2.3.8.6 Tratamiento secundario

El tratamiento primario deficiente, puede sobrecargar el proceso de tratamiento secundario con sólidos. Los sólidos en la producción de lodos aumentan en el tratamiento secundario, lo que podría sobrecargar los reactores y los clarificadores secundarios y reducir la calidad de los efluentes de las plantas.

La grasa y la espuma remanente interfieren con lodos activados, filtros rociadores y biodiscos. La calidad del efluente puede de nuevo ser afectada adversamente.

2.3.8.7 Manejo de lodos

La operación ineficiente de los tanques de tratamiento primario produce lodos delgados, estos son bombeados al digestor reduciendo la capacidad, debido a su exceso de agua, aumentan los costos de aeración en digestores aerobios, calentamiento en digestores anaerobios y de espesamiento en la deshidratación.

Si se permite que los lodos se conviertan en sépticos en un sistema primario, el lodo resultante reduce el engrosamiento y la eficiencia de deshidratación, así como la producción de olores.

2.3.8.8 Flujos de recirculación

La recirculación de lodos residuales de un proceso secundario hacia los tanques primarios puede tener un efecto adverso en el tratamiento primario. Tal carga de sólidos añadidos puede dar lugar a problemas de bombeo de lodos, lodos sépticos, olores y reducción de la calidad del efluente primario debido a los sólidos remanentes o lodos en aumento. La recirculación en digestores también puede sobrecargar la unidad primaria con resultados similares. Si la planta tiene filtros de arena, el flujo de retrolavado de los filtros es a menudo recirculado al tanque primario.

Este flujo puede hidráulicamente sobrecargar el tanque si se produce en un período de alto flujo y contribuye con sólidos finamente divididos que son resistentes a la sedimentación. Se sugiere hacer el retrolavado y colocar un tanque de recuperación de agua con bombeo constante.

El regreso de sobrenadantes de las unidades de deshidratación normalmente no reduce la eficiencia del sedimentador primario. Un flujo de recirculación de un espesador puede causar los mismos problemas por la carga de sólidos adicional descrita para digestores.

2.4 Procedimientos de arranque y paro

2.4.1 Arranque del sedimentador primario

El procedimiento de arranque del sedimentador primario es una secuencia de pasos el cual se puede utilizar para iniciar ya sea en unidades rectangulares o circulares. Se debe recordar que el procedimiento mostrado en este capítulo es una guía general o un ejemplo de lista de verificación. En cada planta se deben seguir los procedimientos de acuerdo con las especificaciones y caractertisticas particulares y deben estar presentes durante un arranque del sistema por lo menos dos operadores de la planta.

2.4.1.1 Inspección en el pre-arranque

Se deben verificar las siguientes condiciones:

- El tanque está libre de escombros y se ha limpiado de grasa. (Estos podrían atascar las tuberías o líneas de lodos)
- La válvula de drenaje del tanque está cerrada
- Las compuertas de control del afluente o válvulas funcionan correctamente
- Las válvulas y las estructuras de efluentes funcionan correctamente

- La bomba de lodo primario que se va a utilizar ha recibido el mantenimiento adecuado y está lista para funcionar
- Se debe asegurar que el sistema del sello de la bomba de agua funciona correctamente
- Todos los mecanismos de accionamiento del colector se han lubricado, ajustado, y funcionan sin problemas
- Juntas, engranajes y piñones de la cadena de transmisión se han comprobado para la instalación y la rotación adecuada
- Los sumideros, tolvas, y las líneas estén libres de residuos u obstrucciones
- El depósito no presenta corrosión, grietas u otros daños estructurales
- Todos los demás elementos mecánicos ocultos por las aguas residuales se encuentran en buen estado de funcionamiento

La puesta en marcha debe estar coordinada con la operación de la planta, por lo que se debe elegir un momento conveniente y alertar a todo el personal de que se iniciará el arranque del sistema.

2.4.1.2 Sistema eléctrico

- Retirar el equipo de bloqueo de acuerdo al procedimiento establecido en la planta
- Comprobar que los mecanismos de accionamiento primarios sean retirados de los equipos de bloqueo
- Confirmar que los paneles de centro de control de motores (CCM) sean energizados (Ilustración 2.12)
- Cerrar los interruptores para equipos que puedan ser utilizados en la puesta en marcha
- Activar el equipo y compruebe el funcionamiento manual
- Los controles eléctricos deben ser dejados de forma manual durante el inicio

2.4.1.3 Puesta en marcha

- Realizar pruebas para ejecutar los mecanismos de accionamiento de los colectores en el tanque vacío para asegurar un funcionamiento adecuado

Ilustración 2.11 Tanque vacío para inspección





Ilustración 2.12 Cuarto de control de motores y Tablero de control





- Lubricar las guías del colector y rodamientos de los equipos con un spray y con una manguera de agua
- Verificar el funcionamiento del colector que no se atore

2.4.1.4 Establecimiento del flujo

- Abrir lentamente la válvula de control del afluente para permitir que las aguas residuales entren al tanque. Como método alternativo, el flujo de otros tanques puede ser estrangulado, permitiendo que el efluente clarificado entre con seguridad en el canal de efluentes para luego derramar de nuevo en el tanque vacío. Este método debe ser cuidadosamente coordinado con los procesos posteriores si se intenta hacer
- Asegúrar que las válvulas de efluentes de los tanques, canales o estructuras están abiertas

2.4.1.5 Arranque de la bomba de lodos

- Después de que el tanque se llena aproximadamente a un tercio de su capacidad, abrir la succión de la bomba de lodo primario y válvulas de descarga y purgar el aire de la bomba. Realizar el arranque de la bomba, comprobando que el sello del agua se enciende, y verificando que la válvula de retención se abre

2.4.1.6 Colectores o rastras de lodos

- Cuando el depósito esté lleno, iniciar las rastras, colectores transversales, o raspadores. Comenzando las unidades en velocidad "lenta", si esta función esta disponible
- Verificar visualmente que todo está funcionando. Se debe observar la eliminación de la espuma, escuchar los motores

de accionamiento, y controlar la velocidad de la rastra
- En este punto, las válvulas de afluentes se pueden abrir hasta su posición completa o normal
- Se debe comprobar el funcionamiento de todo el equipo cada 2 horas durante las primeras 24 horas, y luego proceder de acuerdo al horario normal de supervisión definido en la planta
- Notificar en la unidad de registro el funcionamiento de la planta, así como al personal de que el inicio se ha completado

Se debe recordar que el arranque del sistema es un procedimiento particularmente peligroso. Siga las directrices de seguridad de la planta con estricto rigor y cuidado.

2.4.2 Paro del sedimentador primario

Cada tanque primario debe ser apagado por lo menos una vez al año para su inspección, mantenimiento y reparación. Una inspección anual a menudo revela problemas que pueden ser corregidos antes de que puedan causar daños graves y nefastas consecuencias (Ilustración 2.13).

De la misma forma que en el caso anterior, el procedimiento mostrado se presenta, a manera de ejemplo, como una guía general, la cual es aplicable a tanques rectangulares o circulares. En cada planta se deben seguir los procedimientos de acuerdo con sus especificaciones y características particulares y deben estar presentes durante el cierre del sistema completo por lo menos dos operadores de la planta.

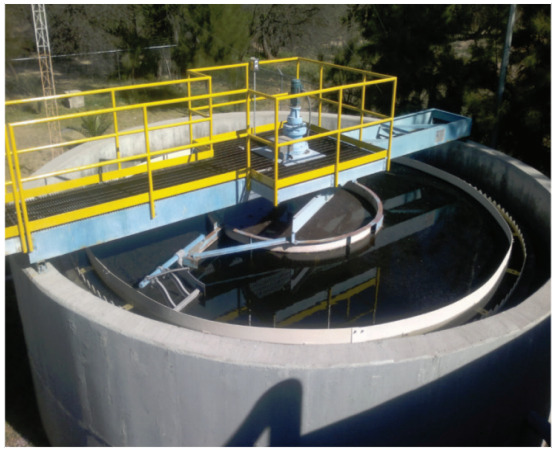
2.4.2.1 División del flujo

- Cerrar el afluente del tanque y desviar el flujo a otros tanques

2.4.2.2 Mecanismos de los colectores

- Permitir que todos los colectores y la bomba de lodos pare durante una hora o dos para retirar todo el lodo del tanque. Engrasar las guías superiores de los colectores de tanques rectangulares rociando con agua

Ilustración 2.13 Sedimentador primario fuera de operación para inicio de mantenimiento





- Después de retirar los lodos, se debe apagar la bomba de lodo primario, enjuagar con agua de la descarga, y cerrar las válvulas de succión y descarga
- Apagar todos los motores de los mecanismos de los colectores y después verificar que la bomba de lodos esté apagada

2.4.2.3 Drenado del tanque (paro prolongado)

- Abrir el drenaje del tanque o arranque las bombas de drenado de los tanques
- Enviar el contenido del tanque a las obras de toma de la planta o a los otros tanques primarios
- Lavar con manguera las paredes y el mecanismo de accionamiento así como los drenajes de los tanques. Con la manguera lavar hacia abajo la parte inferior del tanque para eliminar todos los residuos, lodo, y las acumulaciones de grasa
- Cuando el nivel del tanque caiga por debajo del nivel de los mecanismos de colección o rastras, se debe iniciar los mecanismos en posición de lento y continuar lavado
- Mantener el recolector funcionando el tiempo suficiente para empujar todos los escombros a un extremo y eliminar manualmente si es necesario

2.4.2.4 Bloqueo del Tanque

- Detener el mecanismo de accionamiento
- Bloquear todos los colectores y bombas en el CCM, mientras que el tanque está fuera de servicio

2.4.2.5 Inspección y mantenimiento

- Inspeccionar el tanque completamente
- Reparar o reemplazar los equipos averiados o dañados
- Realizar el mantenimiento necesario
- Pintar todas las superficies metálicas expuestas. Utilizando cepillo de alambre se debe reducir la corrosión

2.5 Deberes periódicos del operador

2.5.1 Operación

La rutina de operación de los sedimentadores primarios requiere de ciertas tareas que se realizan de acuerdo con un horario regular. La Tabla 2.4 contiene las tareas requeridas y puede servir como una lista de verificación durante sus rondas. Esta lista debe añadirse y modificarse según se vaya adquiriendo experiencia en la operación de los tanques primarios y bombas de lodos. La frecuencia sugerida de realizar estas tareas también está sujeta a cambios.

2.5.2 Requisitos de muestreo

El análisis de laboratorio de muestras del afluente y efluente proporciona información valiosa para determinar el rendimiento de las unidades. Estos análisis deberán incluir los siguientes parámetros de seguimiento del proceso:

- pH
- Demanda bioquímica de oxígeno
- Los sólidos suspendidos y sedimentables
- Sólidos totales y volátiles del lodo
- Grasas y Aceites

Tabla 2.4 Programa de procedimientos de operación

Componente del sistema		Observación	Medidas correctivas	Frecuencia
1.	Equipo de recolección de lodos	Comprobar el estado de funcionamiento e inspeccionar la unidad	Si no funciona, determinar la causa y corregirla. Reiniciar o reparar	Dos veces por turno
		Revisar los efluentes en los vertederos	Limpiar si hay crecimientos o material que cuelgue tanto como sea necesario	Una vez por turno
2.	Equipo de eliminación de espumas.	Comprobar los desespumadores y la operación de los equipos de eliminación de natas	Eliminar las obstrucciones tanto como sea necesario	Dos veces por turno
3.	Bomba de lodos	Comprobar los registros de flujo de lodos	Determinar la causa, en base a si su funcionamiento es anormal o correcto	Dos veces por turno
		Comprobar la densidad de lodo por metro de profundidad, la observación visual, el sonido de la bomba, o los análisis de laboratorio	Ajustar la velocidad de la bomba si es necesario para obtener la densidad de lodos correcta	Dos veces por turno (con la bomba de lodo encendida)
		Comprobar la temperatura de la bomba en la carcasa para un posible sobrecalentamiento	Determinar la causa, si es demasiado caliente	Una vez por turno (durante el funcionamiento de la bomba)
		Comprobar la bomba de succión y presión de descarga	Determinar la causa, y corregir si es anormal	Una vez por turno (durante el funcionamiento de la bomba)
		Toque el sistema de sellado del agua	Tomar medidas correctivas según sea necesario	Una vez por turno
4.	Bomba de natas	Revisar la temperatura en el cuerpo de la bomba	Si está demasiado caliente, determinar su causa	Una vez por turno (durante el funcionamiento de la bomba)
		Comprobar la succión de la bomba y descarga	Si es anormal, determinar la causa	Una vez por turno (durante el funcionamiento de la bomba)
		Revisar el sello del sistema de agua	Tomar medidas correctivas según sea necesario	Una vez por turno
5.	Características de las aguas residuales	Observar si hay burbujas de gas o hay aumento de lodos, y el efluente es inusual o tiene arrastre de sólidos	Determinar la causa y tomar las medidas correctivas	Dos veces por turno
6.	Profundidad de lodos	Verificar con una vara, con una botella en un tubo o con equipo con medidor de densidades y visualice los lodos	Ajustar la frecuencia de bombeo de lodos en su caso	Una vez por turno

Además, las siguientes pruebas pueden proporcionar información útil, una visión del control de procesos:

- Temperatura
- El oxígeno disuelto
- Demanda química de oxígeno

La comparación del afluente y del efluentes demuestran la eficiencia de remoción del sistema principal operativo del sedimentador primario. Las muestras para estas pruebas se deben recoger en el agua residual bien mezclada o donde las velocidades son altas. Las muestras del afluente deben recogerse después de la de-

tección y remoción de arena. Las muestras de efluentes deben recogerse en el canal de efluentes cerca del punto de descarga. Asegúrese de que las botellas de colección de la muestra estén limpias. Si su planta utiliza muestreadores automáticos, asegúrese de que los tubos de muestreo estén limpios. En la Tabla 2.5 se presenta la frecuencia de muestreo, ubicación y método sugerido. Deberán modificarse estas sugerencias para representar con mayor precisión las necesidades de su planta.

2.5.3 Mantenimiento

El funcionamiento fiable de su tratamiento primario depende de la calidad del mantenimiento que la unidad recibe. Su programa de mantenimiento debe incluir procedimientos escritos de forma general preventiva y mantenimiento de emergencia.

Genere un método adecuado y establézcalo para mantener las piezas de repuesto adecuadas.

Esta sección proporciona una lista sugerida de los elementos de mantenimiento generales y preventivos, así como ideas para el mantenimiento de emergencia y repuestos.

2.5.3.1 Mantenimiento general

- Mantener un sistema de registro de trabajo realizado y programado del mismo
- Mantener un archivo de manuales de funcionamiento y mantenimiento de los equipos así como los procedimientos de reparación
- Lubricar el equipo a intervalos recomendados y con el lubricante correcto. No sobre-lubricar. Siga las recomendaciones de su proveedor

Tabla 2.5 Ejemplos de tratamiento primario

Prueba	Ubicación de la muestra	Método de muestreo	Frecuencia de muestreo
1. pH	Afluente principal	Toma de muestra	Diario
	Efluentes principal	Toma de muestra	Diario
2. Demanda bioquímica de oxígeno	Afluente principal	Compuesta de 24 horas	Diario
	Efluente principal	Compuesta de 24 horas	Diario
3. Sólidos suspendidos y sedimentables	Afluente primario	Compuesta de 24 horas	Diario
	Efluente primario	Compuesta de 24 horas	Diario
4. Sólidos totales y volátiles	Extracción de lodos	Toma de muestra	Diario
5. Sólidos totales y volátiles de aguas residuales	Afluente principal	Compuesta de 24 horas	Semanal
	Efluente principal	Compuesta de 24 horas	Semanal
6. Grasas y aceites	Afluente principal	Toma de muestra	Mensual
Nota: Las pruebas que se mencionan a continuación son opcionales.			
7. Temperatura	Afluente principal	Prueba realizada en la ubicación de la muestra	Diario
8. El oxígeno disuelto	Afluente principal	Muestra en situ	Diario
	Efluente principal	Muestra en situ	Diario
9. Demanda química de oxígeno	Afluente principal	Compuesta de 24 horas	Semanal
	Efluente principal	Compuesta de 24 horas	Semanal

- Mantener el equipo limpio. Retirar el material flotante. Esto mejora el rendimiento y evita malos olores
- Mantener el nivel de los vertedores para evitar cortocircuitos
- Inspeccionar regularmente los ruidos inusuales, presiones irregulares, sobrecalentamiento de equipos, u otras condiciones anormales

2.5.3.2 Mantenimiento preventivo

Los elementos siguientes se sugieren como requisitos básicos para un buen programa de mantenimiento preventivo. En la Tabla 2.6 se muestra la frecuencia sugerida. Modifique esta lista para reflejar con mayor precisión las necesidades de su planta.

- Desaguar cada tanque principal para inspección, limpieza y reparación, al menos, una vez al año
- Inspeccionar todo el equipo mecánico observando el desgaste y la corrosión. Reparar, reemplazar o pintar si es necesario
- Inspeccionar el equipo que funciona correctamente y anotar cualquier signo de problemas de funcionamiento que pueda ocurrir a futuro
- Lubricar las piezas de metal, unidades de impulsión y cojinetes
- Comprobar los niveles de aceite, agregar aceite si es necesario
- Comprobar o reparar las rastras por el desgaste. Reemplazar según sea necesario
- Controlar y ajustar cadenas (si corresponde)
- Revisar las líneas, cárcamos y lugares de llegada. Limpiar según sea necesario
- Comprobar el funcionamiento de las piezas mecánicas de los equipos del desnatador
- Inspeccionar las superficies de concreto en busca de grietas. Reparar según sea necesario

2.5.3.3 Mantenimiento de emergencia

- Cuando se descubra un problema, se debe desviar el flujo, vaciar el tanque, y reparar el problema tan pronto como sea posible
- Tener un procedimiento escrito detallado, que esté disponible en la planta cuando un tanque debe ser removido de servicio para reparaciones de emergencia
- Notificar a todo el personal siempre que se deban realizar reparaciones de emergencia
- Observar todas las reglas de seguridad cuando se realizan reparaciones
- Evitar las reparaciones temporales inseguras
- Evitar retrasar cualquier tarea de reparación

2.5.3.4 Inventario de piezas de repuesto

Su inventario de piezas de repuesto debe incluir un balance de las piezas necesarias para mantener el funcionamiento del tanque sedimentador primario. Esta lista general deberá incluir rastras, cadenas, engranajes y motores. Las partes que se deben tener, dependerá

Tabla 2.6 Programa de mantenimiento preventivo

Num	Acción	D	S	M	SM	A
1.	Drenar el tanque					X
2.	Inspeccionar el desgaste y la corrosión					X
3.	Inspeccionar la operación del equipo	X				
4.	Lubricar el equipo*					X
5.	Comprobar los niveles de aceite, añadir como sea necesario				X	
6.	Revisar la tensión de la cadena, ajuste según sea necesario	X				
7.	Comprobar si hay desechos. Retire lo necesario				X	
8.	Revisar el equipo de espumas. Repare según sea necesario	X				
9.	Inspeccionar el concreto. Resane según sea necesario					X
10.	Inspeccionar las superficies metálicas de la corrosión. Limpie y vuelva a pintar si es necesario					X
11.	Lavar las líneas de lodos	X				
12.	Reemplazar el empaque de las bombas					X
13.	Rutina de servicio de las bombas				X	

* El uso del lubricante recomendado por el fabricante.

D = Diario
S = Semanal
M = Mensual
SM = Semestral (dos veces al año)
A = Anual (una vez al año)

de la cantidad de tanques que tenga, el flujo de la planta y el historial de reparaciones. Puede determinar el número correcto de cada parte de repuesto para su inventario por la experiencia o consultando con sus proveedores de equipos.

2.5.4 Mantenimiento de registros

El rendimiento y eficiencia de la unidad primaria requiere un registro organizado de la unidad en operación, toma de muestras, análisis de laboratorio, y mantenimiento mecánico. Los registros de operación deben incluir los siguientes elementos:

- Variaciones de flujo del afluente principal
- Volúmenes de recirculación hacia el tanque primario
- Niveles de lodo
- Cantidad de lodos y natas bombeadas
- Frecuencia y duración del bombeo
- Lista de verificación de limpieza
- Operador (es) de servicio
- Observaciones del operador
- Los productos químicos utilizados

Se deben de mantener registros de análisis de laboratorio y toma de muestras para aquellas pruebas que sean realizadas en la planta. Del mismo modo, los registros de mantenimiento deben incluir resúmenes de la labor preventiva, predictiva y de emergencia realizadas en la planta, así como la información sobre la hora, la fecha, el equipo, el trabajo realizado, y nombre del empleado.

2.6 Solución de problemas

2.6.1 Procedimientos para la solución de problemas generales

Antes de investigar la causa de cualquier problema con el equipo, revisar todas las condiciones de funcionamiento básicas. Se debe comprobar que:

- El interruptor está cerrado
- Los interruptores de funcionamiento están en su posición correcta
- Pare las bombas, las válvulas de succión y descarga necesarias si es que están abiertas
- No debe haber signos evidentes de averías, como el equipo atascado, suelto, roto o quemado
- Los pernos de montaje estén apretados; acoplamientos, tornillos de transmisión, y las cadenas están alineadas y correctamente tensadas

Si no hay problemas evidentes, intentar reiniciar. Si el interruptor del equipo se abre inmediatamente después de arrancar, puede existir un cortocircuito eléctrico (o una condición de sobrecorriente). Si el equipo funciona durante un corto tiempo, pero luego se detiene, es posible que exista una condición de sobrecarga (el motor está sobrecargado y atrae más corriente).

- Revisar la sección de solución de problemas mecánicos de esta guía para posibles causas. Si ninguno de estos es la causa, continuar con el siguiente paso de este procedimiento general
- Desconectar el motor del equipo accionado y comprobar si están girando sin atorarse
- Si el motor o el equipo se une o es muy difícil darle vuelta con la mano, puede que un rodamiento haya fallado o el equipo está siendo impedido para girar libremente debido a algún otro tipo de falla
- Desmontar el equipo según sea necesario para determinar y corregir la causa

Si no ocurre nada al reiniciar, investigar si es un fallo de un componente eléctrico o un problema mecánico. Pueden ser necesarios los servicios de un electricista o técnico calificado para solucionar los problemas eléctricos.

Tabla 2.7 Solución de problemas mecánicos

Problema	Causa posible	Respuesta del operador
El colector se atasca	Atasco físico	Comprobar los niveles de lodo. Si son lo suficientemente altos como para atascar los colectores, determinar la causa y corregir. Aumentar el retiro de lodos No existe vinculación entre el colector y otra parte del tanque, o un objeto grande ha caído en el tanque. Drenar el tanque y verificar el mecanismo y su operación, retirar el objeto. La rastra puede ser demasiado baja y necesita un ajuste hacia arriba desde el suelo
Funcionamiento errático de los colectores	La cadena de transmisión está demasiado suelta Acumulación del lodo Trapos o escombro se han enredado al colector Colectores dañados o pasadores de seguridad rotos	Ajustar retirando uno o más eslabones de la cadena Comprobar los niveles del manto de lodos y aumentar el bombeo si es necesario. Quitar cualquier objeto que se haya enredado. Reparar o sustituir las piezas dañadas según sea necesario
Fallo del pasador de seguridad en la cadena	Tamaño incorrecto del pasador de seguridad Los vuelos de las rastras no están alineados Hielo Lodo excesivo	Cambiar el tamaño del pasador Comprobar y vuelva a alinear si fuera necesario Quitar o romper el hielo Operar los colectores más a menudo durante períodos más largos Retirar los lodos más a menudo
Encadenamiento o piñones quebrados	Cadena o piñones de tamaño incorrecto Choque hidráulico por exceso de carga Desalineación	Reemplazar con un tamaño correcto Instalar un deflector de entrada para desviar esta fuerza Comprobar correctamente en caso de ser necesario
Unidad ruidosa	La cadena esta suelta La cadena o piñón están desgastados La cadena no encaja Rodamientos desgastados Lubricación impropia Desalineación El mecanismo del tanque circular central está desgastado	Eliminar la holgura Reemplazar la pieza desgastada Reemplazar con un tamaño correcto Reemplazar la pieza si fuera necesario Consultar las recomendaciones del fabricante Comprobar correctamente mientras sea necesario Comprobar la ubicación y lubricante. Reparar reemplace o de servicio donde sea necesario
Cadena rígida	La cadena se ha desgastado Lubricación impropia Corrosión, suciedad	Reemplazar Lubricar apropiadamente Lubricar apropiadamente
Desgaste rápido de la cadena	Suelta o desalineada	Apretar y alinear como sea necesario
Brincoteo en cadena dentada	Cadena o piñones desgastados La cadena no se ajusta a los piñones La cadena esta floja Desalineación	Reemplazar la cadena desgastada Reparar instalando un tamaño correcto Tensar la cadena Alinear la cadena y la rueda dentada
Corrosión en el equipo	Aguas residuales sépticas	Pintar la zona corroída con pintura resistente Investigar y corregir la causa del estado séptico de las aguas residuales
Sello de aceite con fugas	Sello del aceite dañado	Reemplazar el sello
El colector no se inicia	Se disparó el disyuntor	Restablezca el interruptor automático e intentar reiniciar. Bloquear el equipo en el CCM si todavía no arranca
La rastra no roza correctamente	La altura de la hoja no está debidamente ajustada	Ajustar al nivel adecuado

Tabla 2.7 Solución de problemas mecánicos (continuación)

Problema	Causa posible	Respuesta del operador
Funcionamiento defectuoso de la bomba	Bomba bloqueada	Comprobar si hay basura en la bomba y retirar si es necesario
	Alta presión de descarga	Comprobar si hay una válvula cerrada o si existe alguna obstrucción en el lado de la descarga
	Sobrecarga en la bomba	Retirar la bomba y mandarla a servicio, mientras tanto colocar una de repuesto
La bomba no bombea	Bomba no preparada	Purgar la bomba con lodos para asegurar el bombeo
	Aire en la caja	Purgar el aire de la caja y vuelva a arrancar la bomba
	Válvula de succión cerrada	Abrir la válvula
	Válvula de descarga cerrada	Abrir la válvula
	Impulsor obstruido	Limpiar el impulsor
	Mala dirección en la rotación	Verificar el giro y corregir
	Línea de lodos obstruidas	Limpiar las líneas
Vibración o ruido	Impulsor obstruido	Limpiar el impulsor
	Impulsor dañado	Reemplazar el impulsor
	Lubricación incorrecta de los cojinetes	Revisar los requerimientos de lubricación. Comprobar si existe lubricación excesiva. Utilizar el lubricante adecuado
	Bomba desalineada	Comprobar la alineación y realinear en caso de ser necesario
	Cojinetes desgastados	Revisar y reemplazar si es necesario
	Eje de trasmisión dañado	Revisar y reemplazar si es necesario
	Causas no evidentes	Retirar la bomba del servicio hasta que se determine la causa
Rodamientos calientes	Excesivo desgaste	Reemplazar los rodamientos
	Lubricación inadecuada	Lubricar o eliminar el exceso. Revisar los manuales proporcionados por el fabricante
El motor se calienta funcionando	Válvulas cerradas	Abrir y revisar
	La velocidad es demasiado alta	Revisar y ajustar si es necesario
	Impulsor obstruido	Limpiar el impulsor
	Defecto en el motor	Comprobar la entrada y salida del motor
	Voltaje incorrecto	Verificar el voltaje del motor
	Lubricación incorrecta	Comprobar y corregir según las indicaciones del fabricante
	Lodos demasiado gruesos para la bomba	Diluir con el agua de la descarga (si está disponible) Utilizar una bomba más grande Bombear los lodos con más frecuencia
Fugas excesivas en el empaque de la bomba	El embalaje requiere de un ajuste o de un reemplazo	Apretar el embalaje Retirar la bomba del servicio y cambiar los empaques
Baja presión por sello del agua	El sello del agua está roto	Revisar el sello de la línea del agua y reparar
	El empaque de la bomba es demasiado flojo y se fuga el agua	Apretar el embalaje y reemplazar en caso de ser necesario
	El filtro está tapado	Limpiar el filtro
	La válvula de solenoide no abrió	Abrir el Bypass para comprobar la presión en la bomba. Cambiar si fuera necesario

Ilustración 2.14 Obstrucción en vertedor y fractura en el tanque, respectivamente



Ilustración 2.15 Sedimentador con falta de mantenimiento y partes metálicas con alta corrosión, respectivamente



Ilustración 2.16 Falta de atención en sedimentadores primarios




AGUA
CRUDA

Conclusiones del libro

La operación del pretratamiento es muy importante; se debe tener mucho cuidado y ser muy constante y consistente en las labores operativas, ya que se observan una gran cantidad de plantas en donde se ha descuidado la operación y mantenimiento del pretratamiento porque las labores son pesadas y los equipos mecánicos para los sólidos son difíciles de manejar y se rompen u obstruyen continuamente al presentarse problemas como atascamiento por trapos, piedras, ramas, plásticos, madera, etcétera; principalmente en mecanismos de rejillas como en bombas, además de la abrasión producida por las arenas y por la acumulación de basura y arena en unidades posteriores como sedimentadores, reactores y digestores principalmente.

Cuando se opera adecuadamente el pretratamiento, se garantiza la protección a los equipos de bombeo que pudieran estar posteriormente y se minimiza posibles interferencias hidráulicas causadas por obstrucciones en tuberías.

Los olores se minimizan siempre y cuando se disponga rápida y adecuadamente de los residuos obtenidos.

Como se mencionó, es común que los mecanismos de rejillas mecánicas, lavadores de arena, bombas de extracción de arena y bombas para el agua residual se atasquen o dañen y salgan de operación, para ello se tendrá que poner especial atención en el mantenimiento preventivo, el inventario de repuestos y las reparaciones oportunas del mantenimiento correctivo o reparaciones mayores no programadas y compra de equipos nuevos para sustituir los que se dañan completamente.

Es recomendable tener recipientes con tapa hasta donde sea posible para disminuir la presencia de moscas y roedores como también

los malos olores en la zona del pretratamiento. Esta es la primera zona que recibe a los visitantes a la planta por lo que se recomienda tener esta unidad en óptimas condiciones de funcionamiento y de limpieza.

El tratamiento primario recibe el agua que ha pasado por el pretratamiento, si este último no funciona bien, los sedimentadores o rejillas estáticas recibirán toda la carga de sólidos, incluyendo basura y arena que pueden dañar sus partes mecánicas y móviles.

Si mantenemos adecuadamente la unidad de tratamiento primario y se opera continuamente sin permitir la acumulación excesiva de sólidos y natas, se proporcionará agua residual libre de sólidos sedimentables y sus condiciones serán adecuadas para que los reactores biológicos funcionen con la eficiencia esperada.

Como se ha mencionado indirectamente, el tratamiento primario también puede realizarse en rejillas estáticas de limpieza hidráulica, con aberturas de malla entre 0.5 y 1.2 mm que retendrán sólidos similares a los retenidos en un sedimentador primario. Las rejillas estáticas tienen muchas ventajas sobre los sedimentadores como alta eficiencia, menor costo de inversión, operación y mantenimiento, fácil operación, autolimpieza hidráulica y poco espacio para su colocación. Aunque también tiene la desventaja de no retener grasas y aceites como el sedimentador primario.

A

Anexos

A.1. Formatos de control del proceso

Tabla A.1 Formato de control del cribado

Nombre de la planta de tratamiento:					
Localización:		Entidad:			
Jefe de turno:		Fecha:		Hora:	
	Criba 1				
Localización de la criba:					
Fecha de limpieza:					
Nombre del operador:					
Hora de la limpieza:					
Cantidad de basura extraída (en peso, kg):					
Cantidad de basura extraída (en volumen, L):					
Observaciones:					
	Criba 2				
Localización de la criba:					
Fecha de limpieza:					
Nombre del operador:					
Hora de la limpieza:					
Cantidad de basura extraída (en peso, kg):					
Cantidad de basura extraída (en volumen, L):					
Observaciones:					
	Criba 3				
Localización de la criba:					
Fecha de limpieza:					
Nombre del operador:					
Hora de la limpieza:					
Cantidad de basura extraída (en peso, kg):					
Cantidad de basura extraída (en volumen, L):					
Observaciones:					

Tabla A.2 Formato de control de trampas de grasas

Nombre de la planta de tratamiento:					
Localización:		Entidad:			
Jefe de turno:		Fecha:		Hora:	
Trampa de grasas:					
Localización de la trampa de grasas:					
Última revisión:		Hora:		Tiempo transcurrido:	
Cantidad de grasa extraída (en peso, kg):					
Cantidad de grasa extraída (en volumen L):					
Observaciones:					

Croquis de ubicación

Tabla A.3 Formato de control de canales desarenadores

Nombre de la Planta de tratamiento:					
Localización:		Entidad:			
Jefe de turno:		Fecha:		Hora:	
Canal desarenador 1					
Localización del canal desarenador:					
Dimensiones (m):		Largo (m):		Profundidad (m):	
Última revisión:		Hora:		Tiempo transcurrido:	
Cantidad de arena extraída (en peso, kg):					
Cantidad de arena extraída (en volumen, L):					
Observaciones:					

Canal desarenador 2					
Localización del canal desarenador:					
Dimensiones (m):		Largo (m):		Profundidad (m):	
Última revisión:		Hora:		Tiempo transcurrido:	
Cantidad de arena extraída (en peso, kg):					
Cantidad de arena extraída (en volumen, L):					
Observaciones:					
Croquis de los canales desarenadores					

Tabla A.4 Formato de control de desarenador de vórtice

Nombre de la planta de tratamiento:					
Localización:		Entidad:			
Jefe de turno:		Fecha:		Hora:	
Desarenador de vórtice					
Localización del desarenador de vórtice:					
Fabricante:		Modelo:		Serie:	
Dimensiones (m):		Largo (m):		Profundidad (m):	
Última revisión:		Hora:		Tiempo transcurrido:	
Cantidad de arena extraída (en peso, kg):					
Cantidad de arena extraída (en volumen L):					
Observaciones:					
Croquis de los canales desarenador de vórtice					

Tabla A.5 Formato de control de un sistema por flotación por aire disuelto -DAF-

Nombre de la planta de tratamiento:								
Localización:		Entidad:						
Jefe de turno:		Fecha:		Hora:				
Datos promedio:								
DAF sin recirculación:								
Caudal tratado (m^3/d):		Presión de inyección de aire kg/cm^2:						
Marca de la bomba del afluente:		Potencia (HP):		Modelo:		Serie :		
Unidad de flotación:								
Largo (m):		Ancho (m):		Tirante (m):		TRH (d):		
Cantidad de lodo espesado (kg/d):		Presión de aire suministrada kg/cm^2:						
Cantidad de materia flotante recuperada (kg):								
Observaciones:								

DAF con recirculación:							
Caudal tratado (m^3/d):		Presión de inyección de aire kg/cm^2:					
Marca de la bomba del afluente:		Potencia (HP):		Modelo:		Serie :	
Unidad de flotación:							
Largo (m):		Ancho (m):		Tirante (m):		TRH (d):	
Cantidad de lodo espesado (kg/d):		Presión de aire suministrada kg/cm^2:					
Depósito de Efluente:							
Largo (m):		Ancho (m):		Tirante (m):		TRH (d):	
Caudal de recirculación (m^3/d) Tiempo de operación (h):		Presión de inyección de aire en recirculación (kg/cm^2):					
Cantidad de lodo espesado (kg/d):							
Cantidad de materia flotante recuperada (kg):							
Observaciones:							

Tabla A.6 Formato de control de medidor de flujo

Nombre de la planta de tratamiento:							
Localización:		Entidad:					
Jefe de turno:		Fecha:		Hora:			
		Medidor 1					
Tipo de medidor:		Marca:		Modelo:		Serie:	
Localización del medidor:							
Lectura inicial:		Lectura final					
Fecha y hora de la observación:							
Observaciones:							
		Medidor 2					
Tipo de medidor:		Marca:		Modelo:		Serie :	
Localización del medidor:							
Lectura inicial:		Lectura final					
Fecha y hora de la observación:							
Observaciones:							
		Medidor 3					
Tipo de medidor:		Marca:		Modelo:		Serie :	
Localización del medidor:							
Lectura inicial:		Lectura final					
Fecha y hora de la observación:							
Observaciones							

Bibliografía

Crites, R., Tchbanoglous, G. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Primera edición. Editorial Mc Graw-Hill. ISBN: 0-07-289087-8.

EPA, 1992. (s.f.). Environmental Protection Agecy "Guidelines for Water Reuse". EPA/628/R-92/004.

EPA, 2011. (s.f.). Principles of Design and Operations of Wastewater Treatment Pond Systems for Plant Operators, Engineers, and Managers. Office of Research and Development National Risk Management Research Laboratory. EPA/600/R-11/088. United States.

Grady, C. P., & Lim, H. C. (1980). Biological Wastewater Treatment Theory and Applications. Marcel Dekker, New York.

Metcalf & Eddy. (2003). Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. 4th edition. McGraw Hill, New York. ISBN: 0-07-041878-0.

Romero Rojas, J. A. (1999). Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización. 3ra. Edición. Ed. Alfaomega. ISBN: 970-15-0403-8.

Water Pollution Control Federation. Clarifier Design. Manual Of Practice FD-8 (1985). ISBN 0-943244-61-7. USA. World Composition Services, Inc.

Water Pollution Control Federation. Preliminary Treatment for Wastewater Facilities. Manual Of Practice Operation & Maintenance-02 (1980). Lancaster Press, Inc.

Water Pollution Control Federation. Plant Maintenance Program. Manual Of Practice Operation & Maintenance-3 (1982). Lancaster Press, Inc.


HUBER

Tabla de conversiones de unidades de medida

Sigla	Significado
mg	miligramo
g	gramo
kg	kilogramo
mm	milímetro
cm	centímetro
m	metro
ml	mililitro
l	litro
m^3	metro cúbico
s	segundo
h	hora
d	día
mg/l	miligramo por litro

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

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 ft2 = 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

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

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_2O (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	ν	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/s^2

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/Pie²	millones gal/día/acre	m/día	pie/s	Darcy
cm/s		1.000	21 204.78		864.000	0.033	
gal/día/pie²			1.000		0.041		0.055
millón gal/día/acre				1.000	0.935		
m/día		0.001	24.543	1.069	1.000		1.351
pie/s		30.480			26 334.72	1.000	
Darcy			18.200		0.740		1.000

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

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

Presión							
de a	**atmósfera**	**Kg/cm²**	**lb/in²**	**mm de Hg**	**in de Hg**	**m de H_20**	**ft de H_2O**
atmósfera	1.000	1.033	14.696	760.000	29.921	10.330	33.899
kg/cm²	0.968	1.000	14.220	735.560	28.970	10.000	32.810
lb/in²	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	**cm²/s**	**gal/día/pie**	**m²/día**
cm²/s	1.000	695.694	8.640
gal/día/ft	0.001	1.000	0.012
m²/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	9.60 1	9.627	9.652	9.677	9.703	9.728
32	9.754	9.779	9.804	9.830	9.855	9.881	9.906	9.931	9.957	9.982	10.008	10.033
33	10.058	10.084	10.109	10.135	10.160	10.185	10.211	10.236	10.262	10.287	10.312	10.338
34	10.363	10.389	10.414	10.439	10.465	10.490	10.516	10.541	10.566	10.592	10.617	10.643
35	10.668	10.693	10.719	10.744	10.770	10.795	10.820	10.846	10.871	10.897	10.922	10.947

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

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

Fórmulas generales para la conversión de los diferentes sistemas

Centígrados a Fahrenheit	°F=9/5°C+32
Fahrenheit a Centígrados	°C=5/9 (°F-32)
Réaumur a Centígrados	°C=5/4 °R
Fahrenheit a Réaumur	°R=4/9 (°F-32)
Réaumur a Fahrenheit	°F=(9/4°R)+32
Celsius a Kelvin	°K=273.15+^{0}C
Fahrenheit a Rankine	°Ra=459.67+°F
Rankine a Kelvin	°K=5/9°Ra

Factores químicos de conversión					
	A	B	C	D	E
Constituyentes	epm a ppm	ppm a epm	epm a gpg	gpg a epm	ppm a ppm $CaC0_3$
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

epm = equivalentes por millón
ppm = partes por millón
gpg = granos por galón
p.p.m. $CaC0_3$ = partes por millón de carbonato de calcio



Ilustraciones

Ilustración 1.1 Diagrama de flujo de procesos (las unidades de pretratamiento se ubican previo al bombeo) 2
Ilustración 1.2 Cárcamo de bombeo de aguas residuales pretratadas 2
Ilustración 1.3 Obra de llegada y desvío (demasías o bypass) antes del desarenador en una planta de tratamiento de aguas residuales 3
Ilustración 1.4 Rejas y rejillas de limpieza manual y su operación, respectivamente 5
Ilustración 1.5 Rejas y rejillas de limpieza automáticas 5
Ilustración 1.6 Sistemas de rejillas perforadas 6
Ilustración 1.7 Detalle de perforaciones en las placas 6
Ilustración 1.8 Tipos de rejillas de rastrillo 8
Ilustración 1.9 Esquematización del funcionamiento de las rejillas 8
Ilustración 1.10 Detalles de la rejilla tipo escalera 9
Ilustración 1.11 Operación de las rejillas tipos escalera 10
Ilustración 1.12 Rejillas de banda 10
Ilustración 1.13 Detalle de la estructura de la banda 11
Ilustración 1.14 Rejillas de tambor 12
Ilustración 1.15 Rejillas de tambor (Continuación) 13
Ilustración 1.16 Tambor giratorio 13
Ilustración 1.17 Funcionamiento de la rejilla de tipo tambor 14
Ilustración 1.18 Tipos de rejillas de tornillo 14
Ilustración 1.19 Rejillas estáticas 15
Ilustración 1.20 a) compactador en campo; b) desecho compactado 17
Ilustración 1.21 Canales desarenadores con limpieza mecánica 20
Ilustración 1.22 Desarenador aireado 21
Ilustración 1.23 Desarenador de vórtice 22
Ilustración 1.24 Sistema de flotación por aire disuelto 25
Ilustración 1.25 Partes de un sistema de flotación por aire disuelto 26
Ilustración 1.26 Variaciones al sistema DAF sin recirculación 27
Ilustración 1.27 Variaciones al sistema DAF con recirculación 27
Ilustración 1.28 Sistema DAF en funcionamiento 28

Ilustración 1.29 Sistemas de flotación por aire disuelto 28
Ilustración 2.1 Microcriba en sustitución de un sedimentador primario 30
Ilustración 2.2 Ubicación del sedimentador primario en una planta de tratamiento 31
Ilustración 2.3 Sistema desnatador con charola de natas 33
Ilustración 2.4 Vertedores en sedimentador primario 35
Ilustración 2.5 Sedimentador rectangular con rastras y cadenas para recolección de lodos y natas 37
Ilustración 2.6 Cárcamo de bombeo de lodos primarios y válvulas de extracción, respectivamente 38
Ilustración 2.7 Laboratorio para control de procesos 39
Ilustración 2.8 Sedimentador primario rectangular vacío y trabajando con desnatador media caña, respectivamente 40
Ilustración 2.9 Problemas de corrosión 43
Ilustración 2.10 Los desmenuzadores interfieren en la eficiencia del sedimentador primario 44
Ilustración 2.11 Tanque vacío para inspección 46
Ilustración 2.12 Cuarto de control de motores y Tablero de control 47
Ilustración 2.13 Sedimentador primario fuera de operación para inicio de mantenimiento 48
Ilustración 2.14 Obstrucción en vertedor y fractura en el tanque, respectivamente 57
Ilustración 2.15 Sedimentador con falta de mantenimiento y partes metálicas con alta corrosión, respectivamente 57
Ilustración 2.16 Falta de atención en sedimentadores primarios 57

Tablas

Tabla 1.1 Tamaño de la abertura de las rejas y rejillas 4
Tabla 1.2 Rejas o rejillas automáticas para diferentes condiciones de instalación 6
Tabla 1.3 Volumen de basura esperada de acuerdo a la abertura entre barras (Metcalf & Eddy, 2003) 16
Tabla 1.4 Problemas y acciones correctivas en el cribado 18
Tabla 1.5 Operación de los desarenadores aireados 22
Tabla 1.6 Guía de problemas y soluciones para desarenadores 24
Tabla 2.1 Remoción de DBO y SST en rejillas finas que pueden sustituir un sedimentador primario 30
Tabla 2.2 Frecuencia de muestreo recomendada 40
Tabla 2.3 Problemas comunes de diseño 42
Tabla 2.4 Programa de procedimientos de operación 50
Tabla 2.5 Ejemplos de tratamiento primario 51
Tabla 2.6 Programa de mantenimiento preventivo 53
Tabla 2.7 Solución de problemas mecánicos 55