

MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES: LODOS ACTIVADOS

51



MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES: LODOS ACTIVADOS

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento

Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Lodos Activados

ISBN: 978-607-8246-91-5

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	VII
Objetivo general	IX
Introducción a la operación y mantenimiento del proceso de lodos activados	XI
1. Operación	1
1.1 Indicadores del proceso	4
1.1.1 Indicadores sensoriales	4
1.1.2 Indicadores analíticos	14
1.1.3 Indicadores auxiliares	24
1.1.4 Indicadores de control	30
1.2 Taller de cálculos	39
1.2.1 Balance de masa	39
1.2.2 Requerimientos de aire	45
1.2.3 Requerimientos de nutrientes	46
1.2.4 Resumen de resultados	46
1.3 Registro de operación	47
1.3.1 Registros físicos	47
1.3.2 Registros de desempeño	47
1.3.3 Actividades de operación	48
2. Mantenimiento	57
2.1 Calendarización de actividades	59
2.2 Mantenimiento preventivo	59
2.3 Herramientas	62
2.4 Procedimientos especiales	62
2.5 Registro de información	62
2.6 Manejo de partes de repuesto	63
2.7 Actividades de mantenimiento	64
2.7.1 Rejillas	64
2.7.2 Desarenador	64
2.7.3 Sedimentador primario	64

2.7.4	Tanque de aireación	66
2.7.5	Sedimentador secundario	66
2.7.6	Cloración	67
2.7.7	Espesador de lodos	67
2.7.8	Digestor	69
2.7.9	Sistema de deshidratación	69
2.7.10	Bombas	70
3.	Problemas comunes y acciones correctivas	73
3.1	Bombas	74
3.2	Cribado	75
3.3	Desarenador	76
3.4	Sedimentador primario	77
3.5	Tanque de aireación	78
3.6	Sedimentador secundario	78
3.7	Licor mezclado	79
3.7.1	Formación de espuma	81
3.8	Cloración	84
3.9	Espesador de lodos	85
3.10	Ejemplos	86
3.10.1	Tres reactores diferentes	86
3.10.2	Demasiadas natas en sedimentador secundario	88
3.10.3	Grupos pequeños de lodo	88
3.10.4	Grupos de lodos salen por vertedores	89
3.10.5	Demasiada espuma en el reactor	90
3.10.6	Demasiada turbulencia en el reactor	90
3.10.7	Problemas de calidad del agua tratada	92
3.10.8	Flotación de lodos negros en sedimentador secundario	93
3.10.9	Flotación de lodos café en el reactor y en el sedimentador secundario	93
4.	Arranque y estabilización del proceso	97
4.1	Preparación previa al arranque	97
4.1.1	Análisis del agua residual	97
4.1.2	Revisión del equipo electromecánico	98
4.1.3	Revisión hidráulica de los tanques	98

4.2 Arranque	100
4.2.1 Arranque sin inóculo	100
4.2.2 Arranque con inóculo	104
4.3 Transición del arranque	106
4.4 Problemas típicos en el arranque	107
4.4.1 Espuma	107
4.4.2 Sedimentación de lodos biológicos	107
4.4.3 Baja remoción de DBO	107
4.4.4 Temperatura y condiciones climáticas desfavorables	107
5. Seguridad e higiene	109
5.1 Objetivos de la seguridad industrial	110
5.2 Causas básicas y causas inmediatas	110
5.2.1 Causas básicas	111
5.2.2 Causas inmediatas	111
5.3 Actos inseguros	111
5.4 Condiciones inseguras	112
5.5 Factores que intervienen en los accidentes	112
5.5.1 Ambiente físico	112
5.5.2 Ambiente psicológico	112
5.5.3 Ambiente social	113
5.6 Programas	113
5.7 Sustancias peligrosas	113
5.8 Espacios confinados	114
5.9 Medidas de protección	114
5.10 Seguridad en una planta de tratamiento de aguas residuales	115
5.10.1 Salud	115
5.10.2 Unidades de proceso	116
5.10.3 Gas cloro	119
Conclusiones del libro	125
Bibliografía	127

Anexos	
A. Descripción del proceso	129
B. Información básica del sistema de lodos activados	147
C. Descripción de equipos de proceso	165
D. Como formular un manual de operación	197
E. Formatos de mantenimiento	209
F. Formatos de arranque	211
G. Guías de solución de problemas	215
Tabla de conversiones de unidades de medida	225
Ilustraciones	235
Tablas	241

PRESENTACIÓN

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

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

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

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

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

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

Director General de la Comisión Nacional del Agua



OBJETIVO GENERAL

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

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



INTRODUCCIÓN A LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

El presente libro pretende que el personal que labora en plantas de tratamiento de lodos activados, obtenga las principales herramientas, habilidades y conocimientos teóricos, que permita operar adecuadamente estos sistemas de tratamiento. Se tratan temas de relevancia como arranque de una planta, parámetros de control, balance de masas, problemas operacionales; así como las principales actividades relacionadas con el mantenimiento.

El primer capítulo está dirigido a la operación y seguimiento de lodos activados. Incluyen además de las herramientas indicadores sensoriales y analíticos, los cuales individualmente proporcionan información del proceso, sin embargo, cuando se interrelacionan con otros parámetros del proceso, esta información es más valiosa y contundente, por lo que es recomendable el monitoreo periódico, con la finalidad de obtener tendencias estadísticas de proceso. Adicionalmente, se presenta la metodología para la realización de balances de masas que evalúe el seguimiento de una adecuada relación alimento/microorganismos, así como de la recirculación y purga de lodos, con la finalidad de mantener un sistema maduro que proporcione una calidad de agua que cumpla con el requerimiento bajo el cual fue diseñada la planta de tratamiento.

En un segundo capítulo se presenta el mantenimiento, como una actividad de relevancia para el cumplimiento de los objetivos del tratamiento, donde adquieren relevancia actividades como la calendarización de las actividades, el mantenimiento preventivo, las principales herramientas a emplear, si se requieren procedimientos especiales y el manejo de refacciones. Posteriormente, se realiza una descripción de las actividades más usuales de mantenimiento

preventivo en las diferentes operaciones unitarias que conforman el proceso de tratamiento de aguas residuales.

El tercer capítulo va encaminado a la solución de problemas operacionales que se presentan en los equipos electromecánicos, en los sedimentadores, en el sistema de aireación, en cloración y en el espesador de lodos, de tal manera que se citan los más comunes, sus posibles causas, y las acciones correctivas que pueden ser implementadas para solucionarlas.

Un cuarto capítulo comprende el arranque y la estabilización de una planta de lodos activados, considerando factores como la inoculación, también se describen y se proporcionan las posibles soluciones a los problemas típicos del arranque, como la producción de espuma, baja sedimentabilidad de lodos y una baja remoción de materia orgánica.

En el último capítulo se presentan temas de seguridad e higiene orientadas a las plantas de tratamiento, de tal manera que se explora las causas que puede originar un accidente y las medidas para prevenirlos.

Al final del libro se incluyen cuatro anexos, el anexo A se ejemplifican las diferentes modalidades del proceso de lodos activados, para la remoción de materia orgánica soluble, así como para la conversión biológica de nitrógeno; el anexo B presenta las características y propiedades microbiológicas que intervienen en el proceso de lodos activados; el anexo C, incluye la descripción y función de los equipos electromecánicos frecuentemente utilizados en el proceso, con especial énfasis a los utilizados en el sistema de aeración; finalmente en el anexo D, se incluye un ejemplo del contenido y desarrollo de un manual de operación para este tipo de proceso.

1

OPERACIÓN

El proceso de lodos activados como tratamiento de aguas residuales fue desarrollado inicialmente en 1914, en Manchester, Inglaterra, por Fowler, Ardern, Munford y Lockett. En 1920 varias instalaciones iniciaban su operación en Estados Unidos de América, sin embargo hasta 1940 se dio el uso extensivo de este sistema. Los primeros investigadores notaron que la cantidad de materia biodegradable que entraba al sistema afectaba la tasa del metabolismo. Los diseños en esa época fueron totalmente empíricos y el tiempo de retención del tanque de aireación fue uno de los primeros parámetros de diseño. Generalmente se seleccionaban cortos tiempos de retención para cargas orgánicas bajas y altos tiempos de retención para cargas orgánicas altas. Posteriormente surgieron criterios relacionados con la carga orgánica y los microorganismos del sistema, llegando a la relación conocida como alimento/microorganismos (A/M).

El sistema de lodos activados en México se inició en los años cincuenta; las plantas de tratamiento de aguas residuales de esa época eran concebidas para el reúso de las aguas tratadas para riego de áreas verdes, llenado de lagos y enfriamiento en la industria. Así fue como se construyeron las primeras plantas de este tipo en Monterrey, Nuevo León, y en la Cd. de México. La alta eficiencia del proceso, así como la posibilidad de ampliar la planta de lodos activados ya sea para

la conversión de nutrientes o para remover mayor cantidad de sólidos mediante tratamiento adicional, hacen de este proceso un atractivo para descargas que requieren bajas concentraciones de nutrientes o para reúso.

Para poder operar y realizar un control adecuado de los procesos de tratamiento biológico es indispensable entender que este es un sistema que está controlado por microorganismos y que responden a cualquier cambio, ya sea físico o químico.

Es así, que un proceso de lodos activados está constituido por microorganismos o por conglomerados bacterianos que forman flóculos, es por esto el nombre de activado, y el de lodo por el aspecto de color café.

El flóculo está constituido también por materia (coloidal o suspendida) orgánica e inorgánica que ha sido adsorbida y absorbida, ya que éste es poroso.

En la Ilustración 1.1 se presenta lo que ocurre, en condiciones ideales, en un tanque de aireación por lotes. Así, se tiene que lo primero que se da en cualquier sistema biológico es la adsorción, al que se le conoce como proceso de estabilización, así una vez que ha sido cubierta esta capacidad del flóculo, es que inicia un proceso de absorción, síntesis y oxidación de la mate-

ria orgánica. Aunque, algunas moléculas más complejas, son descompuestas por la acción de enzimas segregadas por las bacterias, antes de ser absorbidas. Es posible que exista una porción imposible de ser absorbida y permanezca en el flóculo como materia inerte. Todo lo anterior sucede bajo condiciones aerobias. La suma de lo anterior es el mecanismo para la remoción total de materia orgánica.

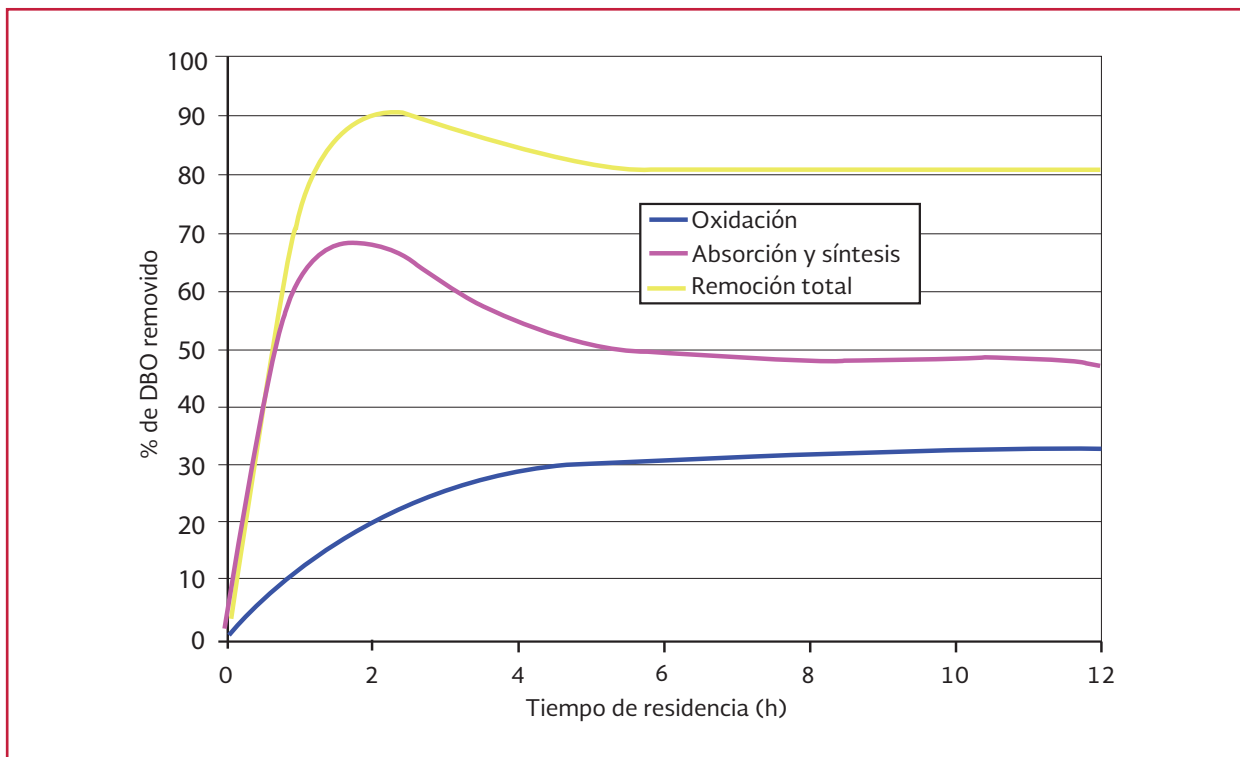
Esto hace a los microorganismos un factor importante en el proceso de lodos activados, al remover la materia orgánica y producir nuevos flóculos. Sin embargo, éstos dependen para su buen desarrollo de la concentración de materia orgánica afluente, cantidad de oxígeno suministrado y de la mezcla que origine éste en el reactor, otro factor importante es la temperatura, la cual puede aumentar o disminuir la actividad microbiana y por último la cantidad de microorganismos presentes en el sistema, ya

que es importante guardar una buena relación con la materia orgánica del afluente.

Todo lo anterior lleva a resumir que el proceso de lodos activados se desarrolla de la siguiente manera. El agua residual con una concentración de materia orgánica es vertida a un tanque de aireación, en donde las bacterias la metabolizan mediante el empleo de oxígeno, produciendo nuevas bacterias y generando bióxido de carbono, agua. Sin embargo, una parte de las bacterias mueren y liberan su contenido celular, que es utilizado por otras bacterias. Toda esta mezcla, cuantificada como sólidos suspendidos en el licor mezclado (SSLM), es separada en un sedimentador, en donde el agua tratada es clarificada y los lodos recirculados al tanque de aireación.

Ahora bien, el tipo y la cantidad de microorganismos presentes en el sistema de lodos acti-

Ilustración 1.1 Remoción de materia orgánica

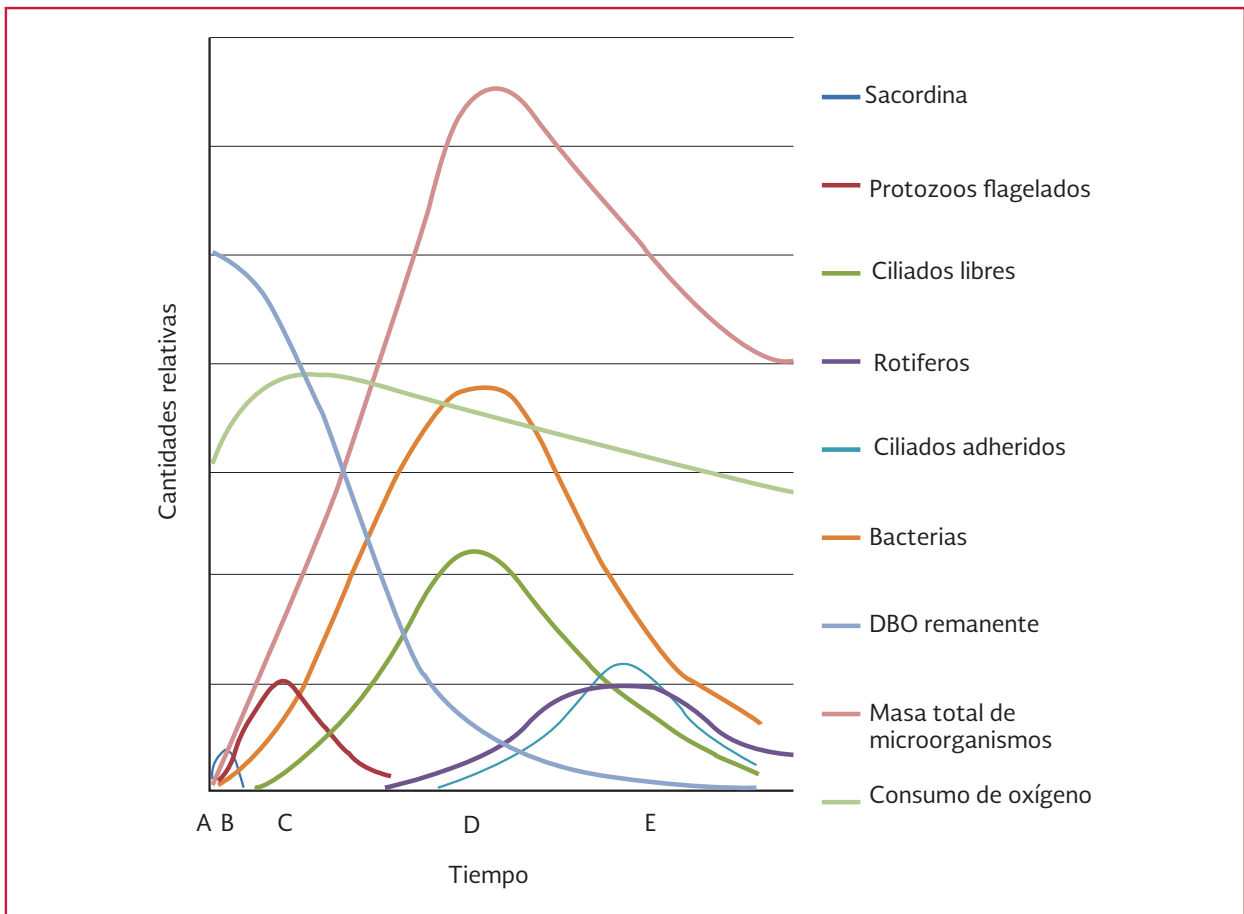


vados pueden ayudar a entender las diferentes condiciones de operación que se presentan. En la Ilustración 1.2 se muestra el desarrollo de los diferentes microorganismos a lo largo del tiempo, tomando en cuenta condiciones ideales y un tanque de aireación por lotes. En un sistema estabilizado el número de bacterias presentes es por mucho mayor al de los rotíferos.

En la Ilustración 1.2 se presentan diferentes puntos (letras mayúsculas), que a continuación son descritos.

- a) El proceso inicia al agregarse el agua residual al tanque de aireación e inicia la aireación. No existe ningún predominio de microorganismos. Bajo estas condiciones existe presencia de espuma blanca
- b) La *Sarcodina*, organismo primitivo, alcanza su pico y existe cuando el alimento es alto. Esto sucede cuando el proceso de lodos activados se arranca
- c) Los protozoos flagelados alcanzan su pico. Estos son mucho más activos y consumen el alimento a una tasa más alta. El color de la espuma en el reactor empieza a tener una coloración de café tenue y en una prueba de sedimentabilidad se apreciaría un efluente turbio, dado que es un lodo joven que aún no ha constituido floculos fuertes
- d) Los ciliados libres y las bacterias alcanzan su pico. Estos subsisten con una menor cantidad de alimento que los protozoos flagelados. Esta zona de operación es la que corresponde a la de un sistema

Ilustración 1.2 Desarrollo de microorganismos



convencional de lodos activados. En esta etapa las bacterias hacen uso de la adsorción para atrapar partículas pequeñas, mediante una película pegajosa, y mediante el empleo de enzimas desdoblan las partículas y las absorben

- e) Predominan los ciliados adheridos y los rotíferos. No existe suficiente alimento para sustentar a los microorganismos, por lo que los anteriores comen bacterias. Varios tipos de bacterias mueren por inhibición. Se entra en una etapa de respiración endógena, que es característica de un proceso de aireación extendida de lodos activados. Los microorganismos emplean sus reservas alimenticias para subsistir, reducen su actividad y la generación de nuevas bacterias. La presencia de pocas bacterias provoca un flóculo con apariencia granular de color café oscuro, con una sedimentabilidad alta, sin embargo, el efluente presenta sólidos suspendidos por falta de bacterias. La remoción de la DBO será alta (adaptado de Romero, 2005)

Es importante recordar en este punto que el proceso de lodos activados es aerobio y que responde a cualquier cambio físico y/o químico.

1.1 INDICADORES DEL PROCESO

Para mejorar la eficiencia de las plantas de tratamiento, es necesario disponer de programas de mantenimiento y operadores capacitados, ya que cualquier persona puede abrir o cerrar una válvula, arrancar o parar una bomba, pero solo un operador capacitado sabrá CUANDO abrir o cerrar una válvula o CUANDO arrancar o parar una bomba, y CUANDO y CUANTO se

debe recircular y purgar. Por lo que, una planta de tratamiento de aguas residuales es tan eficiente como lo son sus operadores. Para que esto sea totalmente válido se requieren apoyos de otras áreas, principalmente recursos económicos. Para conocer realmente el proceso, su problemática y soluciones, es necesario que la planta sea observada y operada adecuadamente, esto representa la diferencia entre una planta por donde solo pasa el agua, y otra en donde se trata el agua.

Por esto es necesario observar y operar adecuadamente cualquier proceso biológico de tratamiento; el de lodos activados requiere también del monitoreo continuo para conocer las posibles causas de un mal funcionamiento de la planta, para determinar los parámetros de operación y conocer las eficiencias del proceso o de cada unidad que lo compone. Para llevar a efecto un buen monitoreo del proceso se cuenta con diversos tipos de indicadores, tales como los sensoriales, los cuales se pueden obtener rápidamente a través de los sentidos, tales como la vista y el olfato, entre otros; los analíticos que involucran a parámetros que necesitan alguna medición o determinación de laboratorio; los auxiliares que no requieren de una determinación analítica; y los de control que pueden involucrar a más de dos de los indicadores anteriores para obtener uno nuevo. A continuación se describen los diferentes tipos de indicadores de proceso.

1.1.1 INDICADORES SENSORIALES

Un operador puede usar indicadores sensoriales para conocer las condiciones de funcionamiento de su planta de tratamiento y proceder a su adecuada operación. Los indicadores sensoriales más comunes en sistemas de lodos activados son los que se presentan a continuación:

- Color
- Olor
- Espumas y natas
- Algas
- Rocío en aireadores
- Turbiedad del efluente
- Burbujas
- Material flotante
- Acumulación de sólidos
- Trayectoria de flujos
- Turbulencias y mezcla

Color

El color puede ser indicativo de un lodo viejo o de uno saludable; un lodo activado aerado en buenas condiciones presenta un color café achocolatado. Un lodo oscuro o negro podrá indicar que no se transfiere el suficiente oxígeno al tanque de aireación y que el lodo es anaerobio.

Ahora bien es importante que el operador se familiarice con la modalidad de proceso de lodos activados y con el color del licor mezclado de su proceso, ya que las condiciones ambientales y de alimento le darán diferente tono de color café. Así, en un proceso convencional, donde la biomasa se reproduce más rápidamente, el co-

lor será café claro (Ilustración 1.3), pero en uno de aireación extendida será un café más oscuro (Ilustración 1.4), en este punto es importante no confundir con un lodo viejo.

Un color poco usual que se observe en el afluente (Ilustración 1.5) o en el tanque de aireación puede indicar alguna sustancia extraña descargada en el sistema recolector de agua residual, por ejemplo, colorante de la industria textil o sangre de un rastro.

Olor

El olor puede indicar si el proceso de tratamiento está trabajando bien. Una planta bien operada no debe generar olores desagradables, excepto en el cárcamo de llegada, los cuáles pueden eliminarse si se acondiciona con una preaireación, por ejemplo, con burbuja gruesa o con una recirculación de agua cruda.

Una muestra de lodos activados (licor mezclado) saludable del tanque de aireación tiene un ligero olor a humedad; si el lodo se vuelve séptico, su color cambia a oscuro y el olor irá aumentando hasta ser similar al del huevo podrido (ácido sulfhídrico gaseoso).

Ilustración 1.3 Convencional



Ilustración 1.4 Aireación extendida



Ilustración 1.5 Color diferente del agua residual



Espuma y natas

La espuma indica que los niveles de sólidos no son adecuados, o bien que el lodo no tiene la edad requerida. El tipo de espuma es indicador de las condiciones de operación de la planta de tratamiento y que se relaciona directamente con la presencia o ausencia de microorganismos.

La formación de espuma blanca en el tanque de regulación, en el tanque de aireación y en el efluente de la planta indica alta concentración de detergentes (Ilustración 1.6), y son condiciones específicas en el arranque de una planta, aunque en condiciones extremas puede indicar ausencia total de microorganismos en el sistema. Este tipo de espuma regularmente se presenta en los reactores por las mañanas y con un

mayor impacto en épocas de invierno, debido a que la actividad metabólica de los microorganismos es afectada por la temperatura y no degradan los detergentes.

Si la espuma persiste en el día en grandes cantidades en el tanque de aireación, pero es de un color café claro (Ilustración 1.7), es signo de que el lodo activado es demasiado joven, esto es característico en los inicios de la estabilización de una planta de tratamiento, por lo que se debe aumentar la recirculación de lodos.

Una espuma espesa y de color café oscuro (Ilustración 1.8) es indicativo de presencia de grasas que aglomeran y encapsulan a los microorganismos y los hacen flotar, repercutiendo en la eficiencia del proceso.

Ilustración 1.6 Detergentes



La presencia de natas (Ilustración 1.9) puede deberse en algunas ocasiones a sustancias químicas descargadas al sistema de tratamiento que provocan una mortandad de microorganismos que flotan en la superficie del sedimentador.

Algas

El excesivo crecimiento de algas en las paredes de los tanques o en las canaletas recolectoras (Ilustración 1.10) indica que el afluente de la planta tiene altos niveles de nutrientes.

Las algas necesitan nitrógeno y fósforo para crecer y algunas formas de algas tienen la habilidad de tomar el nitrógeno de la atmósfera; esto quiere decir que aun con poco nitrógeno y alto contenido de fósforo se pueden presentar problemas de algas. Si se agrega ácido fosfórico como fuente de nutrientes, esta fuente debe reducirse o cancelarse.

Ilustración 1.7 Lodo joven



Rocío en aireadores

Los aireadores mecánicos fijos o flotantes deben sumergirse a una profundidad adecuada; si existe poco rocío del aireador, significa que el nivel de sumergencia no es adecuado (Ilustración 1.11). Bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el tanque pueden deberse a esta misma causa. Por otra parte, es importante hacer notar que demasiado rocío puede ocasionar problemas a la salud de los operadores, por lo que es conveniente siempre observar los aireadores con el viento en contra para evitar salpicaduras.

Turbiedad del efluente

Altas concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente del sedimentador secundario es una indicación obvia del mal funcionamiento de la planta (Ilustración 1.12). Sin embargo,

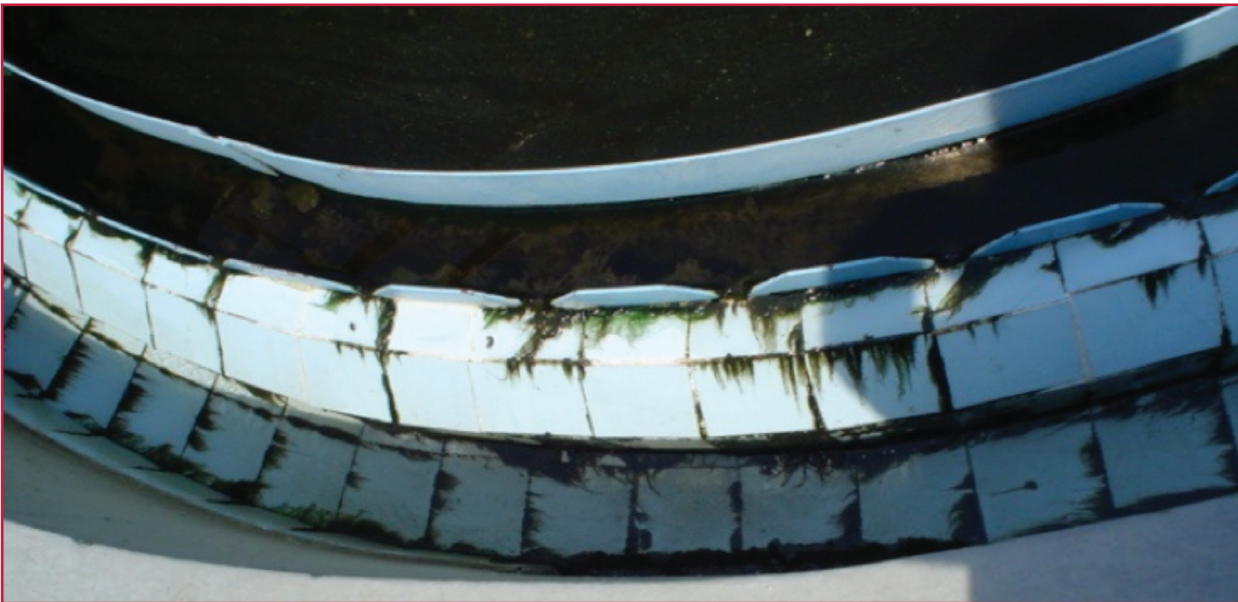
Ilustración 1.8 Grasas



Ilustración 1.9 Natas



Ilustración 1.10 Algas en canaletas



este problema, a menudo es observado solamente hasta que se tienen resultados analíticos del efluente.

Burbujas

Si el acarreo de sólidos se presenta solamente en una sección de la canaleta, es probable que se tengan un cortocircuito en el sedimentador o que los vertedores estén desnivelados. Si el acarreo ocurre a lo largo de toda la canaleta (y vertedores), es indicativo de que el lodo tiene propiedades de sedimentación muy pobres. En

la práctica una turbiedad del agua clarificada menor de 5 UNT, indica una excelente operación, de 5 a 10 UNT se considera una buena operación y mayor a 10 UNT una regular operación con indicios de problemas.

Las burbujas en el sedimentador secundario denotan que el lodo es retenido durante mucho tiempo y que se debe incrementar la recirculación. Esto propicia una condición anóxica, por lo que los microorganismos (lodo biológico) empiezan a desnitrificar, notándose un ligero burbujeo debido al nitrógeno gas que es liberado y

Ilustración 1.11 Aireador superficial (Fuente: CONAGUA, 2014)



que arrastra lodo de color café hacia la superficie (Ilustración 1.13). Si el manto de lodos es demasiado profundo, el lodo en las capas más profundas será anaerobio (séptico) y producirá ácido sulfhídrico, metano y dióxido de carbono, que al desprenderse como gas formará burbujas (Ilustración 1.14) y arrastrará hacia la superficie lodo de color negro (Ilustración 1.15).

Este problema no es único del sedimentador, si no se tiene cuidado con la limpieza de canales,

desarenadores (Ilustración 1.16) y contacto de cloro, en éstos se presentará acumulación de sólidos y por tanto condiciones anaerobias que generaran burbujas y arrastre de sólidos.

Material flotante

El material flotante o capa de lodos del sedimentador secundario es indicador de altas concentraciones de grasas y aceites en el afluente a la planta; esto interfiere con la sedimentación se-

Ilustración 1.12 Sólidos en el efluente del sedimentador



Ilustración 1.13 Desnitrificación

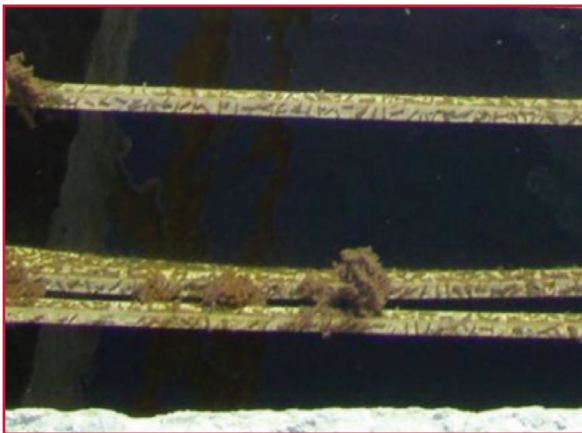


Ilustración 1.14 Burbujas de gas



Ilustración 1.15 Condiciones anaerobias



cundaria y puede causar baja remoción de demanda bioquímica de oxígeno. Una capa de nata en el sedimentador significará que se está inyectando demasiado aire y que las burbujas formadas arrastran los flóculos fuera del sedimentador (Ilustración 1.17). Excesivas cantidades de espuma indican niveles altos de grasas y aceites y/o sobreaireación. El oxígeno disuelto en el tanque

Ilustración 1.16 Flotación de sólidos



de aireación debe revisarse continuamente para mantenerlo entre 1 y 2 mg/Litro.

Acumulación de sólidos

La acumulación de sólidos, sobre todo en las esquinas (Ilustración 1.18), en zonas intermedias entre aireadores o zonas profundas (Ilustración

Ilustración 1.17 Arrastre de flóculos hacia la superficie



1.19), indica un mezclado ineficiente del licor mezclado del tanque de aireación. Este problema puede identificarse muestreando el tanque con equipo para pruebas de fondo, o con un palo para sentir los depósitos de lodo.

Los montículos de lodos depositados pueden ser causados también por la operación ineficiente en los canales desarenadores (Ilustración 1.20) y sedimentadores primarios, lo que permite que la arena llegue hasta el aireador, y si no se tiene cuidado este problema también se puede presentar en los canales de contacto de cloro (Ilustración 1.21).

La acumulación de sólidos es indeseable porque reduce el volumen efectivo de las unidades de

Ilustración 1.18 Tanque de regulación



Ilustración 1.20 Desarenador



operación, por tanto, afecta la eficiencia del proceso. Los montículos de lodos dan como resultado zonas de actividad anaerobia que se traducirán en problemas de sedimentación y olor.

Trayectoria de flujos

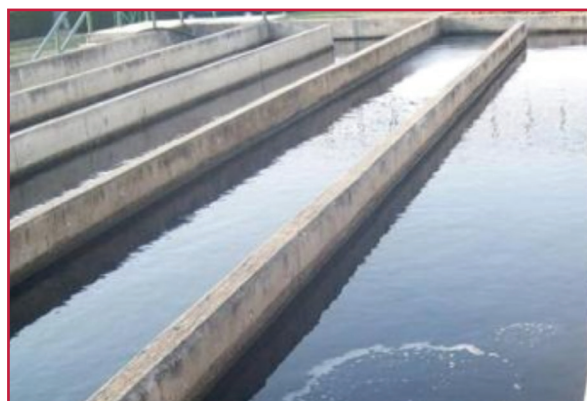
Los cortocircuitos en tanques es otro problema que algunas veces se detecta visualmente. Un cortocircuito se presenta cuando el afluente pasa al tanque directamente de la estructura de entrada a la estructura de salida; esto lleva a la reducción de tiempos de retención por debajo de los de diseño, o sea una pobre operación.

Algunos cortocircuitos se detectan al observar cómo se mueve la espuma del tanque de airea-

Ilustración 1.19 Reactor



Ilustración 1.21 Tanque de contacto de cloro



ción (Ilustración 1.22), los sólidos suspendidos o el material flotante. La colocación de mamparas, a menudo elimina este problema.

Turbulencia y mezcla

La turbulencia en el tanque de aireación puede usarse para identificar problemas; un tanque completamente mezclado debe presentar una turbulencia homogénea (Ilustración 1.23 e Ilustración 1.24). Es deseable que un tanque de aireación este completamente mezclado para evitar que las bacterias sedimenten, también es importante mantenerlas en movimiento para que entren en contacto con la materia orgánica

de las aguas residuales (para ser utilizada como alimento), además al estar en contacto entre sí, las bacterias formarán un flóculo que sedimentará en el clarificador.

Existen varios indicadores de mezclado:

- Formación de depósitos de sólidos en las esquinas del tanque de aireación
- Zonas con concentraciones de oxígeno disuelto de cero en el tanque de aireación
- Zonas con diferencia significativa en concentración, ya sea de oxígeno disuelto (OD) o de sólidos suspendidos (SS)

Ilustración 1.22 Trayectoria de espuma



Ilustración 1.23 Tanque circular



- Un tanque de aireación bien mezclado presentará uniformidad de concentraciones en todo el tanque (Ilustración 1.25)

Turbulencias heterogéneas (no uniformes o de baja turbulencia) pueden ser causadas por:

- Difusores obstruidos (Ilustración 1.26)
- Colocación desigual de aireadores superficiales, o insuficiente aireación de algún equipo
- Difusores con membranas rotas o dañadas (Ilustración 1.27)
- Exceso de aireación (Ilustración 1.28)

En el apartado 1.3 se presentan una serie de formatos guía (EJEMPLO) que pueden ser utilizados para realizar una evaluación rápida de la planta utilizando los indicadores visuales antes descritos. Esto, en el entendido de que cada PTAR es un caso en particular y que éstos pueden ser modificados a su conveniencia. Por otra parte, se recomienda que esta evaluación se realice de rutina después del cambio de turno de los operadores. Una vez realiza-

Ilustración 1.24 Tanque rectangular (FUENTE: ABS 2009)



do el recorrido y de acuerdo a la evaluación se deberán establecer tareas para resolver los problemas detectados. Para lo cual se utilizará el renglón de observaciones.

1.1.2 INDICADORES ANALÍTICOS

Los indicadores analíticos son la principal herramienta del personal de operación para monitorear el funcionamiento de la planta de tratamiento. Los resultados analíticos se usan no solo para conocer las eficiencias del proceso, sino también para resolver problemas de operación mediante el cálculo de parámetros que sirven como base para el funcionamiento adecuado del sistema.

La Ilustración 1.29 y la Tabla 1.1, presentan puntos recomendados para el muestreo, parámetros y valores esperados.

Los indicadores analíticos de mayor importancia en la operación de plantas de lodos activados son:

Ilustración 1.25 Aireación uniforme



Ilustración 1.26 Difusores obstruidos



Ilustración 1.27 Difusor dañado



Ilustración 1.28 Exceso de aireación



Ilustración 1.29 Puntos recomendados para muestreo

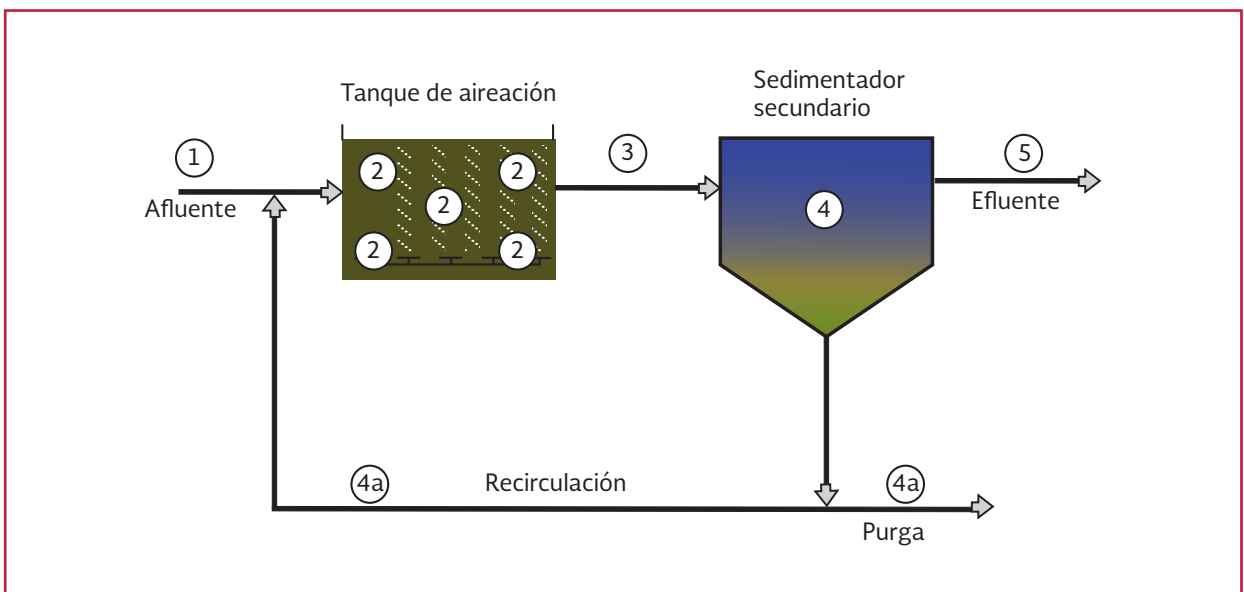


Tabla 1.1 Parámetros y puntos de muestreo recomendados para la evaluación del proceso

Parámetro	Punto de muestreo
DBO afluente	1
DBO efluente	5
DQO afluente	1
DQO efluente	5
Oxígeno disuelto	2
SSLM	2.3
SSVLM	2.3
SS en el afluente	1
SS en el efluente	5
SS en recirculación y purga	4a
DBO/DQO	1
pH	2.5
Sedimentabilidad	3
Manto de lodos	4

- Temperatura
- pH
- Acidez
- Alcalinidad
- Oxígeno disuelto (OD)
- Prueba de consumo de oxígeno
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Nutriente
- Sólidos suspendidos totales (SST)
- Sólidos suspendidos volátiles (SSV)
- Grasas y aceites

A continuación se describe la importancia de cada uno de los indicadores analíticos.

Temperatura

La temperatura es un parámetro muy importante de operación debido a que tiene un efecto directo en el nivel de actividad de las bacterias en los sistemas de lodos activados, por lo que, el operador no tiene control sobre este parámetro.

En la Ilustración 1.30 se pueden observar las relaciones entre temperatura y actividad biológica.

El rango óptimo de temperatura para la actividad bacteriana aerobia es entre 25 y 32 °C. A altas temperaturas las bacterias se vuelven más activas, inversamente a menor temperatura menor actividad bacteriana.

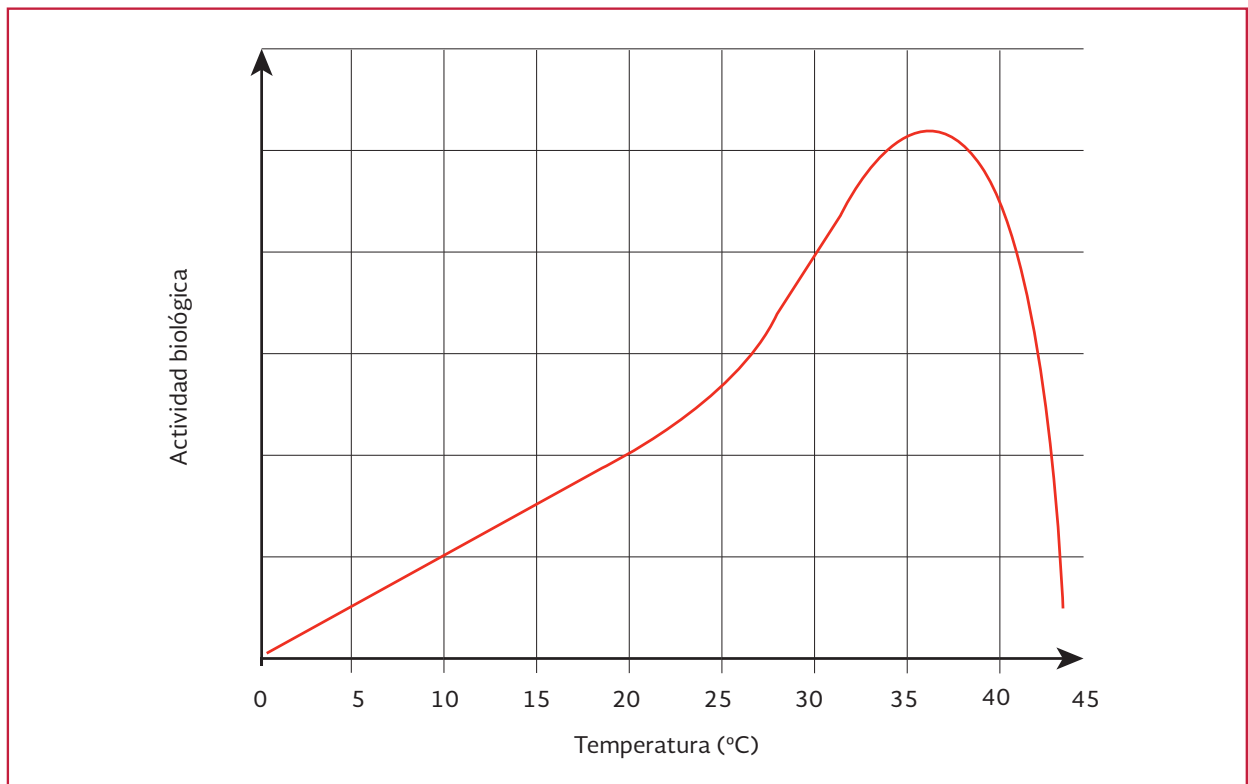
La velocidad de reacción enzimática se duplica cada 10°C (aproximadamente); arriba de 35 °C, las enzimas son destruidas dando como resultado final una baja en la eficiencia del proceso.

Para compensar los cambios de temperatura en las diferentes estaciones del año, se deben realizar los ajustes necesarios para tener las concentraciones adecuadas de SSVLM, así durante los meses de invierno la actividad biológica baja y los sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación necesitan incrementarse, para mantener la eficiencia del proceso y en el verano por condiciones inversas; los SSVLM deben reducirse, ya que cada bacteria asimilará más materia orgánica debido a mayor actividad.

La temperatura afecta las características de sedimentación. Durante el invierno, el agua es más densa y la sedimentación será más lenta y en el verano sucede lo contrario.

Tomado la consideración de que la temperatura es un parámetro importante en el desarrollo de la actividad microbiana, es necesario tomar en cuenta que el agua residual no debe exceder una temperatura de 35°C, ni ser menor de 15°C, hecho que en algunas plantas industriales no se toma en cuenta. Otro punto que es importante mencionar, es que si el sistema es aerado por sistemas de difusión de

Ilustración 1.30 Temperatura y actividad biológica



burbuja fina, el soplador incrementa la temperatura del aire, que a su vez puede incrementar la temperatura del agua hasta en 2 °C.

pH, acidez y alcalinidad

Para asegurar la actividad y el desarrollo de los microorganismos que son de interés en el proceso de lodos activados es indispensable que el agua residual a tratar, así como el sistema en el tanque de aireación se mantengan en un pH entre 6.0 y 8.5 unidades, aunque las bacterias pueden sobrevivir en el rango de pH entre 5.0 y 10.0 pero no reproducirse. Por tal motivo es necesario que el pH del afluente a la planta y del tanque de aireación se registren diariamente para conocer si se reciben ocasionalmente descargas que se salgan de los valores mencionados y realizar las acciones de control necesarias.

Bajo esta premisa, los análisis de acidez y alcalinidad dan la información necesaria para determinar la capacidad amortiguadora del agua cruda y del agua tratada de la planta de tratamiento. Además, uno de los subproductos de la degradación biológica de la materia orgánica es el dióxido de carbono (CO_2) que puede formar ácido carbónico (H_2CO_3) cuando se mezcla con el agua, y puede bajar el pH, si las aguas residuales no tienen la suficiente alcalinidad para amortiguar la formación del ácido.

En un agua que presente una buena alcalinidad el descenso de pH varía de 0.2 a 0.5 unidades, esto es, agua residual de entrada con respecto a la tratada. Esto puede ser de suma importancia si el agua residual tiene un origen industrial y que tenga un alto o bajo pH y por lo que tal vez requiera neutralización. Cuando se tienen aguas

residuales ácidas, lo más conveniente es utilizar cal para su neutralización, por su bajo costo.

Es necesario, controlar el pH, debido a que por debajo de 6.5, los hongos predominan sobre las bacterias y se tendrá una baja remoción de DBO y una pobre sedimentación. Tomar en cuenta que a valores altos de pH, los nutrientes como el fósforo empiezan a precipitar, y ya no puede ser utilizado por las bacterias; esto da como resultado una baja remoción de la demanda bioquímica de oxígeno.

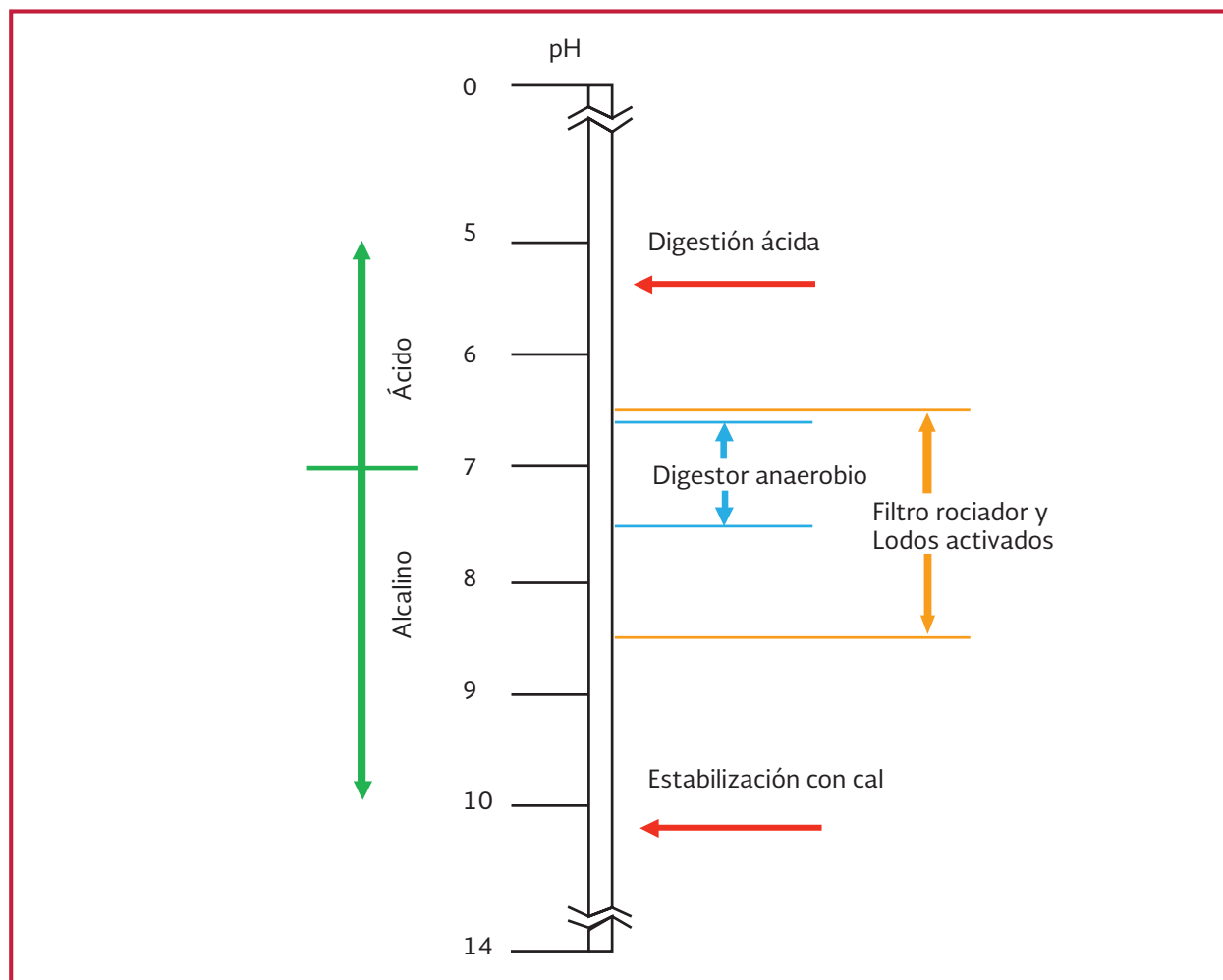
Cuando es alcalina, la producción de CO_2 en el sistema puede ser suficiente, pero si no es el

caso, será necesario adicionar ácido sulfúrico o clorhídrico, que por los costos puede hacerlo prohibitivo. Recordar que en condiciones extremas por arriba o por abajo del rango de 5.0 a 10.0, la población biológica de la planta morirá. La Ilustración 1.31 presenta la relación del pH con procesos biológicos.

Oxígeno disuelto

La variación temporal de la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual hace que se tenga también una variación en la cantidad de oxígeno que se debe proporcionar al tanque

Ilustración 1.31 Escala de pH y procesos biológicos



de aireación para mantener, así la concentración deseada de los parámetros de control.

En lugares con climas extremos (norte del país) en el verano la actividad bacteriana aumenta y se requiere mayor cantidad de oxígeno; además, como la temperatura del agua residual se incrementa, el valor de saturación del oxígeno en el agua disminuye, esto es la cantidad de oxígeno que puede ser transferido o disuelto en el agua es menor. Ambos fenómenos pueden dar como resultado que se requiera mayor cantidad de oxígeno en el sistema durante esta época para mantener la concentración de oxígeno disuelto (OD) residual requerido por el proceso.

Durante el invierno, las temperaturas bajas pueden causar una disminución de la actividad bacteriana y un aumento en el valor de saturación. Lo que da como resultado que en los meses más fríos se reduzcan los requerimientos de aire en el sistema.

Los niveles de oxígeno disuelto en el tanque de aireación son muy importantes para la operación; si el oxígeno disuelto es muy bajo, se inhibirá la actividad microbiana y la remoción de materia orgánica disminuirá. Concentraciones altas OD pueden afectar negativamente la sedimentación secundaria, debido a que la mezcla puede estar rompiendo los flóculos, sin embargo, un aspecto más importante es el de que se estará desperdiciando la energía y por lo tanto dinero.

Ahora bien, si el proceso presenta un incremento de OD puede deberse a una mortandad alta de microorganismos. Una caída brusca del OD indica que una gran cantidad de materia orgánica ingresó al sistema, por lo que se recomienda

tener oxígeno disuelto residual de 1 a 2 mg/L en el aireador. Con lo cual se asegura un poco más del oxígeno que están utilizando las bacterias. El OD residual servirá para satisfacer las variaciones normales de la demanda de oxígeno.

Prueba de consumo de OD

Para monitorear el estado o nivel de actividad de los microorganismos se emplea una prueba simple, pero valiosa, que es la de consumo de oxígeno. Su determinación es fácil y rápida, y permite al operador conocer la actividad microbiana en el aireador, midiendo su velocidad de consumo de oxígeno, empleando para esto un oxímetro, un frasco Winkler de un litro, una parrilla de agitación y un magneto para mantener el licor mezclado en suspensión durante el periodo de la prueba, que como máximo dura 15 minutos (Ilustración 1.32).

Las mediciones se pueden graficar (Ilustración 1.33) y se pueden dar los diferentes comportamientos que se muestran en la gráfica, así se tiene que:

- a) Indica que la actividad microbiana es muy alta o que existen demasiados microorganismos o que en ese momento se recibió una alta carga orgánica
- b) Muestra un comportamiento ideal en el sistema, esto es, el consumo en los primeros minutos es alto, pero con el tiempo es asintótico y sin llegar a un valor de cero
- c) El consumo de oxígeno es lento y rápidamente se hace asintótico, lo que denota que puede haber pocos microorganismos, o que presentan una toxicidad crónica, que está limitando su respiración

Ilustración 1.32 Prueba de consumo de oxígeno



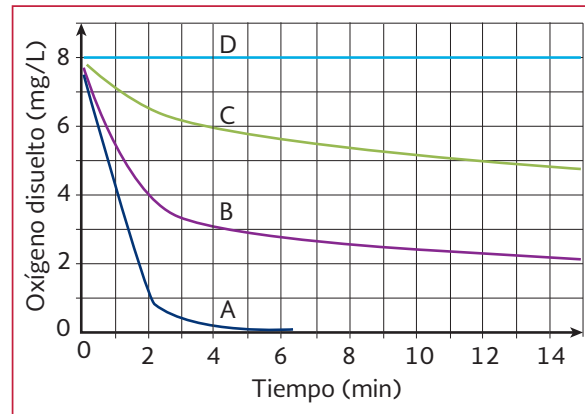
- d) Si no existe consumo de oxígeno, la actividad microbiana es nula, esto indica que pudo ocurrir una toxicidad aguda
- e) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Otro factor importante como indicador del proceso es la concentración de DBO, sobre todo en el afluente al tanque de aireación y el efluente del sedimentador secundario. La DBO proporciona al operador la información relativa al funcionamiento de la planta, como es la eficiencia de remoción de la materia orgánica (alimento), remociones por arriba del 90 por ciento de DBO indican que la planta funciona bien; y por debajo del 80 por ciento denota que existen problemas de operación en la planta o valores ya sea de caudal o carga orgánica, significativamente por arriba de las consideradas en el diseño.

Se requieren registros diarios de DBO para calcular indicadores de control, siendo el más importante la relación alimento-microorganismos (A/M). Otro uso de este indicador es para calcular la cantidad de nutrientes en caso de requerirse en el proceso.

Cualquier cambio significativo en las características del agua cruda afectará el desarrollo de los microorganismos y del sistema de tratamiento;

Ilustración 1.33 Consumo de oxígeno



si la carga de DBO se incrementa significativamente, habrá demasiado alimento para los microorganismos del sistema. Este exceso podrá incrementar la tasa de reproducción y producir un lodo activado joven caracterizado por un crecimiento disperso de la población, lo que se traduce en una sedimentación secundaria pobre. Pero también, se incrementaría el consumo de oxígeno, como se mencionó con anterioridad. Pero si no se tiene la cantidad adecuada de microorganismos y oxígeno requerido, no toda la DBO (alimento) será utilizada por los microorganismos, y una parte pasará directamente al sedimentador secundario y al efluente de la planta, lo que provocará que la eficiencia de tratamiento disminuya. Si por el contrario, la carga orgánica (DBO) decrece, no habrá suficiente alimento para los microorganismos y disminuirán su tasa de crecimiento, por lo que la población microbiológica del sistema se reducirá; el efecto será un efluente con incremento en la concentración de sólidos suspendidos al formarse un flóculo de rápida sedimentación que no ayuda al arrastre de partículas finas y coloidales.

Se debe llegar a un balance adecuado entre la cantidad de alimento y la de microorganismos en el sistema, esto se discutirá en otro capítulo.

Demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO es una herramienta que cada vez tiene mayor uso, pues el análisis de laboratorio es mucho más rápido que el de la demanda bioquímica de oxígeno. En aproximadamente 4 a 5 horas se puede realizar y obtener un resultado, mientras que la DBO requiere cinco días.

La espera de resultados por más de cinco días ha promovido el uso de la relación DBO/DQO; esta relación puede obtenerse monitoreando de manera sistemática los dos parámetros, durante por lo menos un año, para llegar a establecer de manera bastante aproximada dicha relación.

Una vez que se tiene esta relación, determinando el DQO se infiere el valor de la otra, ahorrándose el tiempo de espera de resultados.

Principalmente por esta razón, la DQO es un importante indicador analítico en plantas de lodos activados, además de ser un índice de descargas industriales.

En la Tabla 1.2, se presenta un ejemplo con resultados correspondientes al año 2006 de una planta de lodos activados de aireación extendida, lo cuales pueden ser graficados para poder establecer tendencias (Ilustración 1.34 e Ilustración 1.35).

De los datos se puede establecer que el promedio de la relación DBO/DQO es de 0.50 con 0.09 de desviación estándar. En un primer periodo de estiaje (enero a mayo) la relación es de 0.56, pero si se divide en dos épocas, una de enero a marzo de una relación de 0.50 y de abril a mayo (sequía más extrema) se obtiene una relación de 0.61, existiendo una gran diferencia entre ellas. En tiempo de lluvias (junio a septiembre) la re-

Tabla 1.2 Ejemplo DQO y DBO

Fecha de muestreo	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	DBO/DQO
10/01/2006	217	98	0.45
24/01/2006	113	55	0.49
07/02/2006	213	95	0.45
21/02/2006	176	85	0.48
07/03/2006	165	90	0.55
22/03/2006	206	118	0.57
04/04/2006	223	116	0.52
18/04/2006	150	86	0.57
02/05/2006	184	105	0.57
16/05/2006	214	130	0.61
31/05/2006	176	113	0.64
13/06/2006	221	170	0.77
27/06/2006	201	90	0.45
12/07/2006	132	64	0.48
25/07/2006	136	58	0.43
08/08/2006	166	68	0.41
22/08/2006	171	90	0.53
05/09/2006	90	50	0.56
19/09/2006	180	82	0.46
03/10/2006	195	76	0.39
17/10/2006	170	62	0.36
31/10/2006	171	76	0.44
14/11/2006	243	119	0.49
28/11/2006	187	85	0.45
12/12/2006	183	70	0.38
19/12/2006	287	123	0.43

lación disminuye a valores de 0.45 y realmente se mantiene así hasta diciembre (0.44), que ya no llueve.

Lo anterior demuestra, que la relación no es fácil de emplear, ya que si se usará un promedio anual, se obtendrían valores incorrectos para cualquier época estacional, lo más apropiado y que minimizaría el error sería emplear una relación por mes, que además correspondería a las condiciones ambientales de ese periodo anual en particular.

Ilustración 1.34 Tendencia DBO y DQO

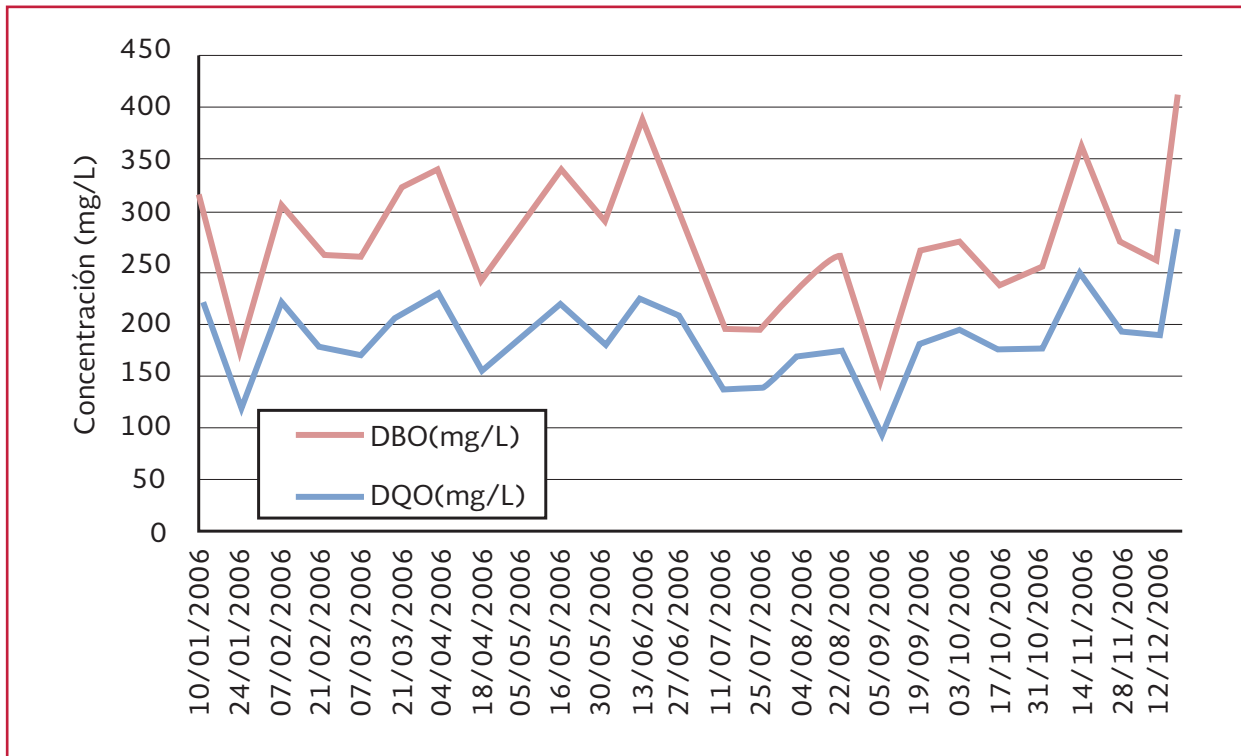
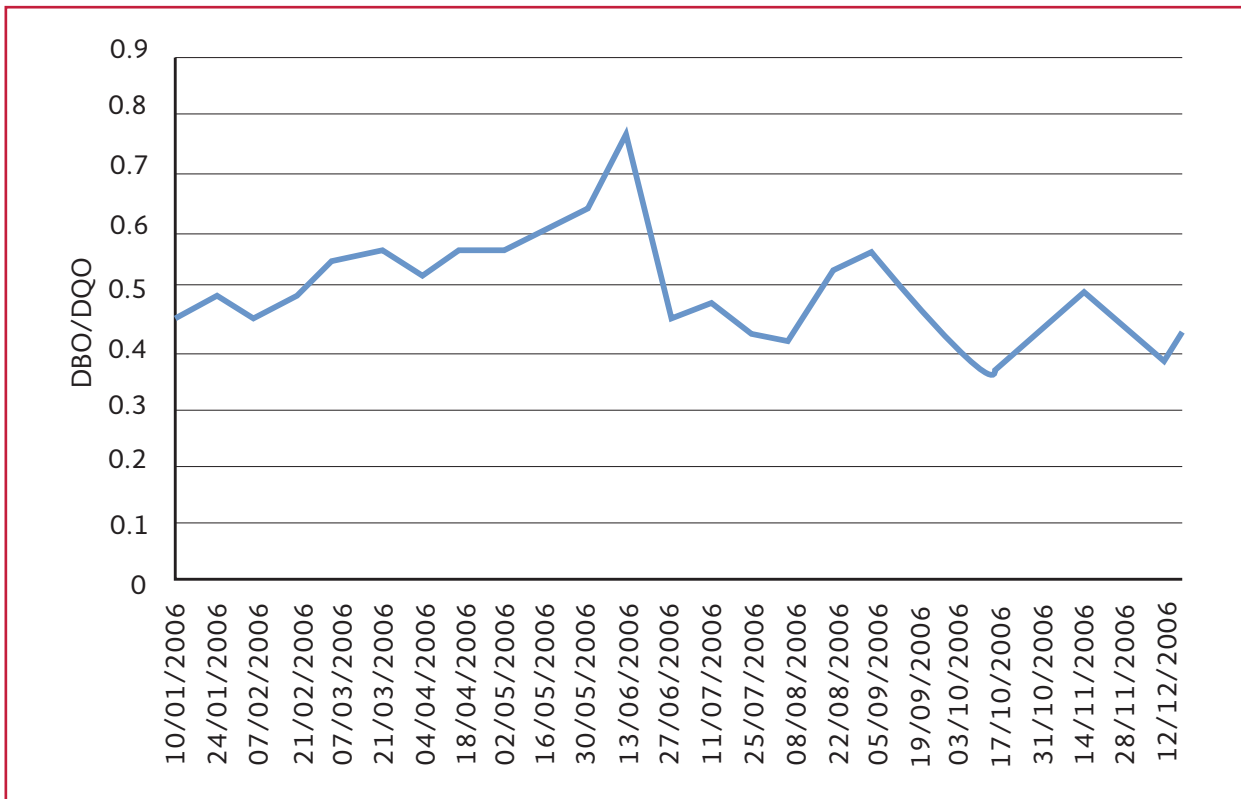


Ilustración 1.35 Tendencia DBO/DQO



Es importante tomar en cuenta que las relaciones que se citan en los libros son mera referencia y que no deben ser empleadas para resolver problemas en una PTAR en particular, ya que las condiciones de calidad de agua (alimentación) varían en cada caso, por lo que será necesario determinar de antemano la relación DBO/DQO para resolverlos.

Nutrientes

Los nutrientes presentes en aguas residuales de tipo doméstico, normalmente están en cantidad suficiente para los microorganismos; sin embargo, habrá afluentes como algunos de origen industrial, que requieren la adición de nutrientes para su tratamiento por medios biológicos.

Cuando no se tiene suficiente nitrógeno se desarrolla una población de microorganismos dispersa o filamentosa que sedimenta pobremente, además, la falta de nitrógeno inhibe la producción de nuevas células. Al agregar nutrientes al agua cruda, se debe pensar en dejar un remanente o nutrientes residuales en el efluente de la planta. Los niveles de nitrógeno (N) y fósforo (P) deben ser monitoreados en el efluente del clarificador para saber si están presentes y si se cumple con las condiciones de descarga de estos parámetros.

Es necesario determinar estos parámetros en muestras filtradas para que no se contabilicen los sólidos biológicos presentes en la muestra. Si los sólidos biológicos no se retienen; el N y P total de las células de los microorganismos se sumarán al N y P total disponible como alimento.

Como regla general se sabe que a 100 kg de DBO le corresponden 5 kg de N, y 1 kg de P para que exista una buena relación de nutrientes.

Sólidos suspendidos totales y volátiles (SST y SSV)

Analíticamente se ha establecido que los SSV son una medida indirecta de la cuantificación de los microorganismos que están presentes en un sistema de tratamiento de agua residual biológico. Los datos que se requieren de sólidos suspendidos en la planta se obtienen de las diferentes operaciones unitarias para hacer ajustes en cada una de ellas, y evaluar el funcionamiento de la planta continuamente.

Las concentraciones de los SST y SSV se emplean para calcular los indicadores de control, tales como la relación alimento-microorganismos (A/M) y el tiempo de retención medio celular (TRMC), el cual a su vez es usado para calcular los niveles requeridos de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (SSVLM), y para hacer ajustes periódicos a la recirculación y a la purga de lodos.

Generalmente, los cálculos antes mencionados están relacionados con los sólidos suspendidos volátiles. En su procedimiento de cuantificación de sólidos suspendidos, con una misma muestra, primero se determinan los SST y después mediante incineración los sólidos suspendidos volátiles. Para facilitar el procedimiento, estos dos parámetros también pueden ser relacionados de igual manera que la DBO y DQO, eliminando así el análisis de los SSV. Sin embargo, es necesario realizar al menos por un año los análisis. En la Tabla 1.3, se presenta un ejemplo con resultados correspondientes al año 2006 de sólidos en un tanque de aireación de una planta de lodos activados de aireación extendida, lo cuales pueden ser graficados para poder establecer tendencias (Ilustración 1.36 e Ilustración

Tabla 1.3 Ejemplo SST y SSV

Fecha de muestreo	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	SSV/SST
10/01/2006	3 217	2 650	0.82
24/01/2006	3 113	2 500	0.80
07/02/2006	3 313	2 657	0.80
21/02/2006	3 176	2 701	0.85
07/03/2006	3 165	2 800	0.88
22/03/2006	3 206	2 649	0.83
04/04/2006	3 223	2 654	0.82
18/04/2006	3 150	2 555	0.81
02/05/2006	3 184	2 651	0.83
16/05/2006	3 214	2 690	0.84
31/05/2006	3 176	2 600	0.82
13/06/2006	3 221	2 698	0.84
27/06/2006	3 201	2 681	0.84
12/07/2006	3 132	2 610	0.83
25/07/2006	3 136	2 620	0.84
08/08/2006	3 166	2 658	0.84
22/08/2006	3 171	2 691	0.85
05/09/2006	3 390	2 705	0.80
19/09/2006	3 180	2 569	0.81
03/10/2006	3 195	2 594	0.81
17/10/2006	3 370	2 700	0.80
31/10/2006	3 171	2 594	0.82
14/11/2006	3 243	2 685	0.83
28/11/2006	3 187	2 587	0.81
12/12/2006	3 183	2 576	0.81
19/12/2006	3 287	2 706	0.82

1.37). Lo anterior demuestra, que la relación no es fácil de emplear, ya que se tiene una variación de 0.80 a 0.88, por lo que nunca se deber emplear un valor promedio anual, ya que los cálculos serían incorrectos para cualquier época estacional, lo más apropiado y que minimizaría el error sería emplear una relación por mes, que además correspondería a las condiciones ambientales de ese periodo anual en particular.

Al igual que en la relación DBO/DQO, es importante tomar en cuenta que lo que se cita en los libros es una referencia y que no debe ser empleada para resolver problemas en una PTAR en particular, ya que las condiciones de calidad de agua residual de entrada determinan la cantidad de microorganismos que deben estar presentes en el tanque de aireación.

Grasas y aceites

Este parámetro debe monitorearse tanto en aguas residuales municipales como en industriales, sobre todo cuando se conoce su existencia. Las grasas y aceites interfieren en la transferencia de materia orgánica soluble a través de la pared celular de los microorganismos al envolverlos, por lo cual mueren por falta de alimento.

Si las cantidades de grasas y aceites son mayores a 100 mg/L empujarán a los flóculos a la superficie de los clarificadores secundarios (Ilustración 1.38), pero si son mayores de 150 mg/L los problemas de aglomeración de flóculos se dará desde el rector biológico (Ilustración 1.39), lo que puede ocasionar una pérdida importante de SSV en el sistema y por lo tanto una baja eficiencia en la remoción de materia orgánica.

1.1.3 INDICADORES AUXILIARES

Los indicadores auxiliares son una herramienta más del personal de operación para monitorear la planta de tratamiento. Estos indicadores sirven como base para el adecuado funcionamiento

Ilustración 1.36 Tendencia SST y SSV

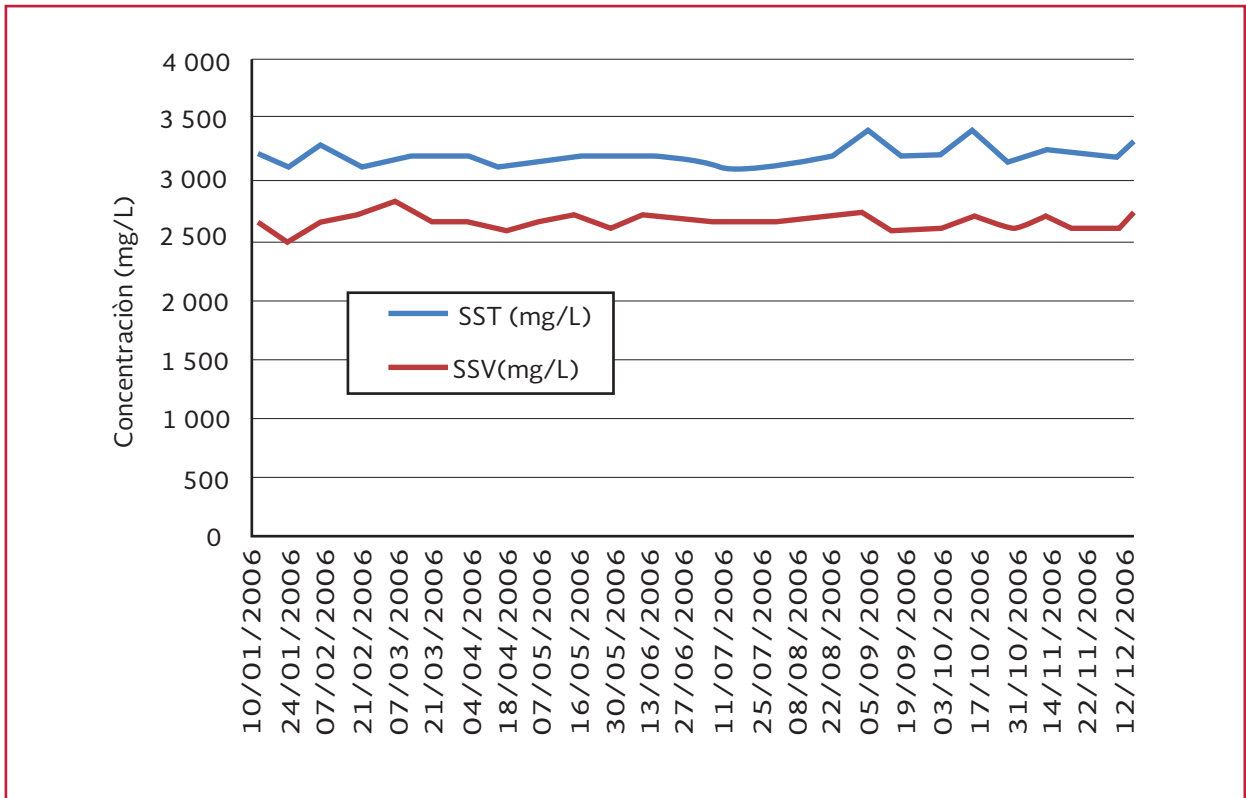


Ilustración 1.37 Tendencia SSV/SST

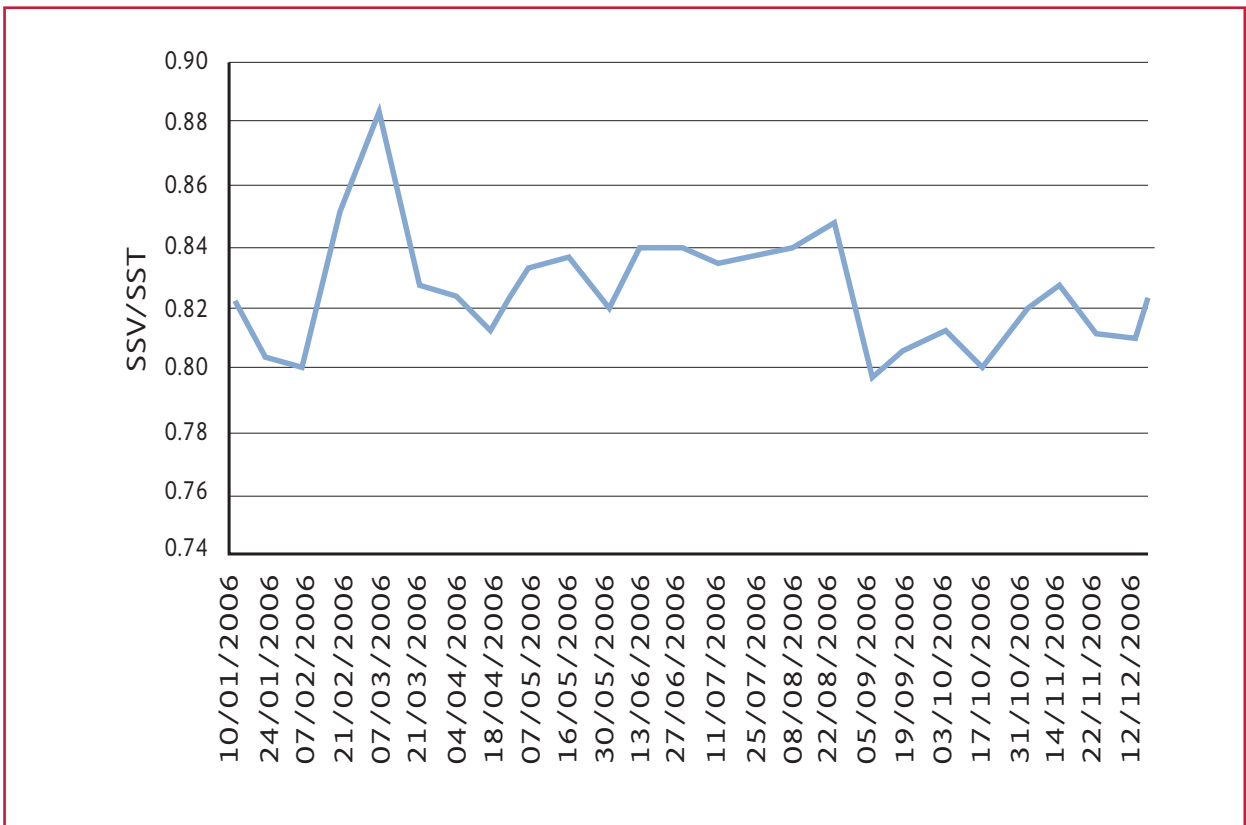


Ilustración 1.38 Presencia de grasas y aceites en clarificadores secundarios mayores a 100 mg/L



to del sistema y pueden ser empleados para resolver problemas de operación mediante ajustes y cálculo de los mismos. Los principales indicadores se enlistan a continuación:

- Gastos
- Tiempo de retención hidráulico
- Profundidad del manto de lodos
- Observaciones microscópicas
- Dosificación de productos químicos
- Toxicidad

Gasto

El gasto de entrada de agua residual está relacionado directamente con la operación de una plan-

Ilustración 1.40 Bypass a la izquierda



Ilustración 1.39 Presencia de grasas y aceites en reactores biológicos mayores a 150 mg/L



ta de tratamiento y es necesario para el monitoreo y control de otros parámetros de operación.

El incremento de gasto por arriba de los valores de diseño disminuirá el tiempo de retención y por tanto, la capacidad de tratamiento reduciendo las eficiencias de operación. El gasto de entrada es un factor donde el operador tiene control. Además, es recomendable que cuando se presenten caudales mayores al de diseño se cuente con un sistema de *by pass*, que será utilizado en época de lluvias (ver Ilustración 1.40 e Ilustración 1.41).

Es obvio que el gasto se debe registrar en el afluente y efluente de la planta. Los gastos se necesitan para calcular:

Ilustración 1.41 Desvío de agua de lluvia



- Cargas orgánicas
- Balance de sólidos
- Indicadores de control como, A/M y TRMC
- Tiempo de retención hidráulico
- Ajuste de recirculación de lodos
- Purga de lodos
- Dosificación de reactivos y nutrientes

Para poder realizar los ajustes necesarios para el control adecuado de la planta de tratamiento, es indispensable contar con un equipo medidor de gasto en continuo, y de ser posible a la entrada y salida del sistema.

Tiempo de retención hidráulico

El tiempo de retención hidráulico se define como el tiempo que permanece cierta cantidad de agua en un tanque en particular, en este caso es en el tanque de aireación.

Es un parámetro importante de operación, ya que establece el tiempo que las bacterias están en contacto con el alimento presente en las aguas crudas, el cual debe ser suficiente para que éstas asimilen o estabilicen la materia orgánica. Si el tiempo de retención en el tanque de aireación es muy pequeño, no toda la materia orgánica será removida y el efluente tendrá valores altos de DBO y tiempos de retención demasiado grandes pueden llevar a problemas de sedimentación.

Es importante este concepto de tiempo de retención, en los desarenadores, en donde las arenas deben ser eliminadas. En los tanques sedimentadores; en ellos se debe permitir que los sólidos suspendidos, en un primario, o que los flóculos de lodos activados, en un secundario, sedi-

menten en un tiempo razonable, para obtener un agua clara y un lodo con una concentración adecuada, así, si es demasiado corto, los sólidos suspendidos no tendrán tiempo de sedimentar, y su concentración en el efluente será muy grande, pero si los lodos permanecen en el tanque mucho tiempo, bajo condiciones anaerobias se vuelven sépticos o se pueden presentar problemas de desnitrificación.

De igual manera, en un tanque de contacto de cloro, es indispensable que el cloro permanezca cierto tiempo para obtener una buena desinfección del agua residual tratada.

El cálculo del tiempo de retención en las unidades de proceso es particularmente importante cuando se alcanza o sobrepasa el gasto máximo de diseño.

Profundidad del manto de lodos

La altura del manto de lodos del sedimentador debe medirse diariamente; un manto de lodos muy grande hará trabajar deficientemente al clarificador e indica que los lodos no han sido extraídos para la recirculación o purgados, y que se están acumulando más rápido de lo que son extraídos.

Lo anterior puede ocasionar:

- Reducción del tiempo de residencia hidráulico y por tanto aumenta la velocidad del agua por los vertedores, que a su vez puede arrastrar flóculos
- Mayor tiempo de residencia del lodo en el sedimentador puede ocasionar que éste empiece a desnitrificar, generando nitrógeno gas, que al ascender arrastra grumos de lodo hacia la superficie

Demasiado tiempo de residencia del lodo en el fondo del sedimentador puede ocasionar que éste empiece a generar condiciones anaerobias, produciendo gases como el metano y el ácido sulfhídrico, que al ascender arrastra grumos de lodo negro hacia la superficie y un mal olor.

En todos los casos anteriores se deteriora la calidad de agua, al presentar sólidos suspendidos.

Un manto de lodos pequeño provocará una sedimentación deficiente, quizá originado por un flóculo disperso o por la extracción excesiva del lodo del sedimentador. Es deseable tener un manto de lodos concentrado en el fondo del sedimentador para reducir el volumen que debe ser extraído para su recirculación o purga. Es recomendable que esta concentración este entre 10 mil y 12 mil mg/Litros.

La determinación del manto de lodos se puede realizar con la ayuda de un equipo que detecta la interfase agua lodo produciendo un sonido (Ilustración 1.42 e Ilustración 1.43).

Ilustración 1.42 Determinación de manto de lodos



Observaciones microscópicas

Las observaciones microscópicas se realizan para asegurarse de la existencia de diversidad biológica y del nivel de actividad microbiana (Ilustración 1.44). En general, los flóculos biológicos de pequeños a medianos y sin crecimiento disperso indican un funcionamiento adecuado del sistema de lodos activados. La presencia de bacterias filamentosas y hongos indican condiciones ambientales desfavorables para los microorganismos: tales como;

- Altas cargas orgánicas
- pH bajo
- Cantidades deficientes de nutrientes
- Falta de oxígeno disuelto

Los microorganismos superiores son más sensibles que las bacterias a estas condiciones adversas; la presencia de materiales tóxicos o falta de oxígeno llevan a la muerte a estos microorganismos, lo que es usado como señal de alarma cuando no son encontrados en las observaciones microscópicas.

Ilustración 1.43 Equipo para la determinación de manto de lodos



Ilustración 1.44 Observación microscópica



El flóculo debe mostrar una presencia variada de microorganismos en número y tipos de protozoarios que indican un proceso balanceado. La presencia de demasiados microorganismos flagelados indica un lodo joven. Si el flóculo es pequeño y con gran número de rotíferos, el lodo es viejo. En muchos casos, el balance de microorganismos en el sistema indica problemas en el proceso mucho antes de que sean severos.

Dosificación de productos químicos

En una PTAR de aguas residuales municipales el único producto químico que se adiciona es el cloro, ya sea en forma de gas o líquido, aunque en pequeñas plantas se utilizan los reactivos químicos en forma sólida.

Si la PTAR trata aguas industriales en algunos casos (no es regla general) es necesario emplear productos químicos que faciliten la operación y control del proceso. Estos pueden ser nutrientes como nitrógeno y fósforo, o complemento

de materia orgánica a través de metanol o polímeros que ayuden a obtener y formar un buen flóculo.

Lo anterior hace necesario mantener almacenada una cantidad suficiente para no parar la planta, ya que de éstos dependerá la calidad de agua residual que se obtenga.

Toxicidad (Metales y compuestos orgánicos volátiles)

La toxicidad normalmente es atribuida a altas concentraciones de metales pesados o compuestos orgánicos volátiles (COV), tales como; cobre, plomo, fenoles, benceno, tolueno, entre otros. La toxicidad puede presentarse de dos formas: crónica o aguda.

La toxicidad aguda puede presentarse rápidamente debido a la presencia de altas concentraciones de sustancias tóxicas; en cuestión de horas, la población biológica del tanque de aireación puede decaer, lo que hace que este tipo de toxicidad sea detectada rápidamente.

La toxicidad crónica se presenta lentamente haciendo difícil su identificación, esto es cuando un elemento, por ejemplo, un metal o COV aumenta gradualmente dentro de las bacterias, donde éstas son recirculadas una y otra vez en el sistema, hasta que la concentración rebasa un límite permisible y se empieza a notar un efecto en la salud del sistema. Como la concentración del elemento tóxico se ha incrementado dentro de los microorganismos, el nivel tóxico es alcanzado disminuyendo su actividad celular hasta que mueren. El análisis rutinario, una vez por mes, de concentración de metales presentes en los lodos del sedimentador secundario puede detectar problemas potenciales por toxicidad crónica.

Finalmente en la Tabla 1.4 se presentan recomendaciones resumidas de los indicadores antes analizados.

1.1.4 INDICADORES DE CONTROL

La función principal del operador de plantas de tratamiento de aguas residuales es el monitoreo y control de su proceso de tratamiento, de tal manera que la producción de agua tratada tenga consistentemente la calidad que se espera de ella, para cumplir con la normatividad o las condiciones particulares de descarga fijadas por las

autoridades correspondientes. Existen diversas técnicas para que el operador controle su planta, y obtenga el funcionamiento óptimo de su sistema de lodos activados.

Los indicadores de control que más se utilizan en una PTAR son:

- Índice volumétrico de lodos (IVL)
- Relación alimento/microorganismos (A/M)
- Tiempo de retención medio celular (TRMC)

Tabla 1.4 Recomendaciones de los indicadores analíticos

Indicador	Recomendación
Temperatura	Tiene un efecto directo en el nivel de actividad de las bacterias. Se recomienda un rango de 15 a 35° C.
pH, acidez y alcalinidad	Condiciones extremas por arriba o por abajo del rango de pH 5.0 a 10.0, la población biológica morirá. La acidez/alcalinidad, es una capacidad amortiguadora de las aguas residuales. Se recomienda pH de 6 a 8.5.
Oxígeno disuelto	Se tiene un sistema aerobio, por lo que es importante mantener un residual de OD entre 1 a 2 mg/L en el tanque de aireación, si es bajo, se inhibirá la actividad microbiana y la remoción de materia orgánica disminuirá.
Prueba de consumo de OD	Indica el nivel de actividad de los microorganismos.
Demanda bioquímica de oxígeno	Es el alimento de los microorganismos. Cualquier cambio significativo en la DBO afectará el desarrollo de los microorganismos y del sistema de tratamiento
Demanda química de oxígeno	La demanda química de oxígeno puede usarse para estimar la demanda bioquímica de oxígeno
Nutrientes	Los microorganismos requieren N y P, así como diversos nutrientes para su desarrollo y reproducción.
Sólidos suspendidos	Es un parámetro que denota eficiencia de los diferentes procesos. Los SSV indican de manera indirecta la cantidad aproximada de microorganismos en el tanque de aireación.
Grasas y aceites	Interfieren en la transferencia de materia orgánica soluble, así como la sedimentación de sólidos.
Gastos	Está relacionado directamente con la operación de una planta de tratamiento y es necesario para el monitoreo y control de otros parámetros de operación.
Tiempo de retención	Establece el tiempo que las bacterias están en contacto con el alimento, el cual debe ser suficiente para que establezcan la materia orgánica.
Profundidad del manto de lodos	Es recomendable tener un manto de lodos de 1 metro.
Microorganismos	Se realizan para asegurarse de la existencia de diversidad biológica y del nivel de actividad microbiana. Es deseable tener una gran variedad de microorganismos.
Productos químicos	Se requiere mantener almacenada una cantidad suficiente para no parar la planta, ya que de éstos dependerá la calidad de agua residual que se obtenga.
Toxicidad	Se pueden presentar dos tipos de toxicidad: crónica o aguda, por metales y compuestos orgánicos volátiles.

- Recirculación de lodos
- Purga de lodos

Pero siempre buscando los siguientes efectos en el sistema de tratamiento:

- Mejorar las características de sedimentabilidad de los lodos
- Mantener una concentración óptima de microorganismos en el tanque de aireación
- Obtener la mejor remoción de carga orgánica
- Obtener la mejor remoción de nutrientes

Existen diversas condiciones para el correcto funcionamiento de las plantas; a continuación se mencionan los principales controles de la operación de plantas de lodos activados.

Índice volumétrico de lodos (IVL)

Este se define como el volumen en mililitros ocupado por 1 gramo de sólidos en suspensión del licor mezclado (SSTLM) (Ilustración 1.45), expresado en peso seco, después de sedimentar durante 30 min en una probeta graduada de mil mililitros. Como ejemplo; la concentración de SST es de 2 000 mg/L (2 g/L). Después de 30 min, el volumen de lodo es de 250 mL/Litro. Entonces, el volumen ocupado por un gramo después de 30 minutos es de:

$$IVL = \frac{250}{2} = 125 \frac{mL}{g} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Los valores típicos de *IVL* para lodos de buenas características de sedimentación están comprendidos dentro del intervalo de 150 a 35, con concentraciones de 800 a 3 500 mg/Litro.

Ilustración 1.45 Prueba de IVL



Ahora bien, la determinación de esta prueba puede revelar mucha información si se realiza de una manera correcta y tomando en consideración lo siguiente:

- El comportamiento de los microorganismos no es igual en la mañana, al medio día, por la tarde o por la noche
- Se deberá establecer si se realizará una o varias veces al día
- Se deberá realizar a la misma hora todos los días, esto es por ejemplo; a las 9:00 o 12:00 o 15:00 o 23:00, esto con la finalidad de que los resultados sean comparables
- Se deberá realizar a la sombra, ya que la temperatura afecta la velocidad de sedimentación
- Se deberá tomar el volumen del lodo cada cierto lapso de tiempo, por ejemplo cada 3 o 5 minutos

- Los datos obtenidos se graficaran, para obtener una curva de sedimentabilidad, que dará una idea del tipo de lodo que se tiene en el tanque de aireación
- Durante la prueba se podrá apreciar la forma del flóculo, su color y olor
- Al final de la prueba, el aspecto del sobrenadante también puede ayudar a tener una idea del tipo de lodo que existe en el tanque de aireación y de lo que se espera en el sedimentador secundario
- Línea roja; corresponde a un lodo esponjoso, de color café claro y que posiblemente sea de un lodo joven
- Línea violeta; representa a un lodo maduro, de flóculo bien formado, de color café achocolatado, con olor a tierra húmeda
- Línea verde; corresponde a un lodo viejo con características de excelente sedimentabilidad pero con un clarificado turbio. El color del lodo es de café oscuro o cercano a negro

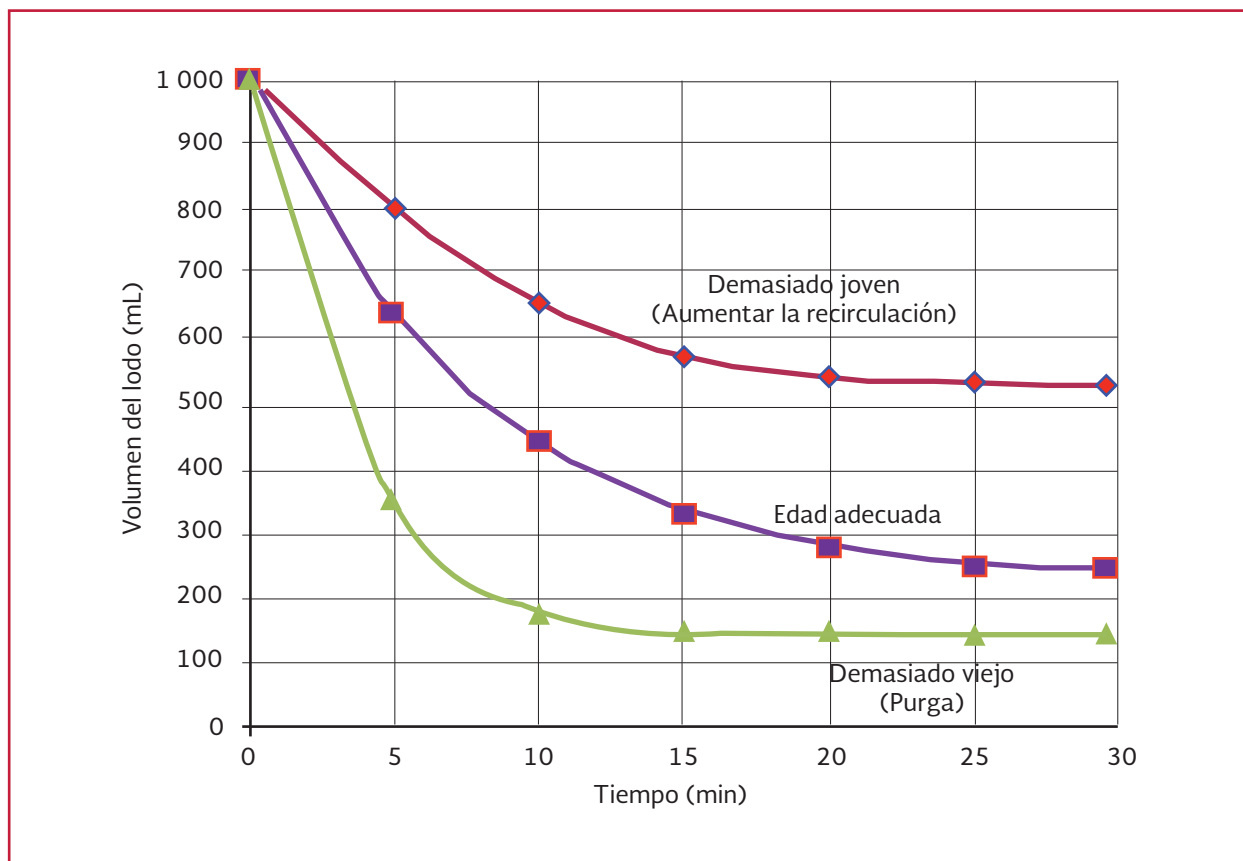
La información que se obtenga de esta prueba ayudará a conocer el comportamiento del sistema y a detectar rápidamente problemas operacionales.

Al graficar el volumen de lodo con respecto a tiempo se puede obtener lo que se presenta en la Ilustración 1.46, en donde:

Relación alimento/microorganismos (A/M)

Para controlar de manera efectiva el proceso de su planta de tratamiento, el operador necesita conocer las cargas orgánicas que entran y salen del sistema. Los dos parámetros de mayor importancia que se deben cuantificar para aguas residuales

Ilustración 1.46 Curva de sedimentación



son la DBO y los SST; aunque en el caso del tratamiento de aguas residuales específicas, tal vez se requieran adicionar más parámetros. La carga de DBO es particularmente importante, pues con este parámetro se calcula la cantidad de alimento que entra al sistema y que será asimilado por los microorganismos en el tanque de aireación y está definida por la siguiente ecuación:

$$A = \text{Carga orgánica} = \text{Flujo (concentración DBO)}$$

Ecuación 1.2

$$A = \text{Carga orgánica} = Q (\text{DBO})$$

Ecuación 1.3

Otro aspecto que debe considerar el operador es la carga de microorganismos que se encuentran en el tanque de aireación y que serán los encargados de oxidar la materia orgánica presente en el agua residual, ésta se obtiene de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\frac{A}{M} = \frac{\text{Alimento que entra al sistema por día}}{\text{Masa de microorganismos en el tanque de aeración}}$$

Ecuación 1.6

$$\frac{A}{M} = \frac{\text{kg de DBO afluente al tanque de aeración por día}}{\text{kg de SSVLM (en el tanque de aeración)}}$$

Ecuación 1.7

Cuando se usan la relación A/M como parámetro del control en una planta de tratamiento, se tiene el inconveniente de que la A (alimento), no se puede controlar, sobre todo en aguas residuales municipales; en algunas industrias se puede tener cierto grado de control con un tanque de homogenización, o controlando alguna descarga del proceso productivo de la industria.

$$M = \text{Carga de SSV} = \text{Volumen del reactor} \\ (\text{concentración de SSV})$$

Ecuación 1.4

$$M = \text{Carga de SSV} = V (\text{SSVLM})$$

Ecuación 1.5

Para formar un buen lodo en el tanque de aireación y que éste sedimente bien en el clarificador, además de lograr una buena eficiencia de remoción de DBO, se debe mantener un balance adecuado de la cantidad de DBO que entra al tanque y la cantidad de SSVLM presentes en el mismo. Este balance se controla con el parámetro denominado relación A/M (alimento/microorganismos). La relación varía de acuerdo con el proceso de tratamiento o modificación al mismo.

La relación A/M se calcula de la siguiente manera:

El parámetro M (microorganismos) es la parte controlable de la relación A/M; éste representa sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación que se controla mediante la recirculación y purga de lodos activados.

Cuando el parámetro es utilizado como control de la planta, es responsabilidad del operador controlar la concentración de SSVLM; en otras palabras,

el operador debe controlar la cantidad de microorganismos de acuerdo con el alimento disponible.

Si la relación A/M es demasiado alta, hay necesidad de disminuir la purga de lodos y aumentar la recirculación para que entren más microorganismos al sistema.

Si la relación A/M es muy baja, entonces se requiere aumentar la purga de lodos, para que disminuya la recirculación, y que entren menos microorganismos al sistema, en la Tabla 1.5 se pueden observar algunos valores típicos de A/M de acuerdo con el tipo de proceso. En ella se incluyen otros parámetros para lodos activados. La Ilustración 1.47 y la Ilustración 1.48 presentan las relaciones con otros parámetros de control.

Los parámetros para el cálculo deben obtenerse de la planta, la DBO del afluente al tanque de aireación y los SSVLM del tanque de aireación para tener un valor más preciso y real de la relación alimento/microorganismos.

A continuación se desarrolla una explicación de la correlación A/M y de su efecto sobre las características de sedimentación del lodo.

Para relaciones A/M por debajo del límite inferior establecido de acuerdo a la modalidad de lodos activados

La cantidad de alimento presente en el sistema es insuficiente para mantener el crecimiento de microorganismos, por lo que se ven obligados a vivir bajo el sistema de respiración endógena. Una célula de bacteria típica contiene un material citoplasmático rico en proteínas y ácido ribonucleico y es la principal porción de la célula que se metaboliza durante el proceso de respiración endógena. El residuo que queda del metabolismo endógeno está constituido principalmente por cápsulas celulares muy ligeras que resisten la sedimentación. Esta es la razón por la cual a relaciones bajas de A/M el lodo tiene unas características muy pobres para su sedimentación.

Tabla 1.5 Parámetros en plantas de lodos activados

Proceso	q_c (d)	T_R (h)	A/M	SSVLM mg/L	Q_r/Q	Reducción DBO por ciento
Flujo pistón	5-15	4-8	0.2-0.4	1 000-3 000	0.25-0.75	85-95
Aireación decreciente	5-15	3-5	0.2-0.4	2 000-3 500	0.25-0.75	85-95
Mezcla completa Convencional	5-15	4-8	0.2-0.6	1 500-3 000	0.25-1.0	85-95
Aireación extendida	20-30	18-36	0.05-0.15	3 000-6 000	0.5-1.5	75-95
Contacto estabilización	5-15	0.5-1 3-6	0.2-0.6	1 000-3 000 4 000-10 000	0.25-1	80-90
Oxígeno puro	8-20	1-3	0.25-1	3 000-8 000	0.25-0.5	85-95
Aireación alta carga	0.5-2	1.5-3	1.5-2	200-1 000	1-1.5	70-90
Zanja de oxidación	15-30	15-30	0.04-0.1	3 000-5 000	0.75-1.5	75-95
Proceso secuencial en lotes	10-30	15-40	0.04-0.1	2 000-5 000	N/A	75-95

Ilustración 1.47 Relación A/M, crecimiento biológico y remoción de sustrato

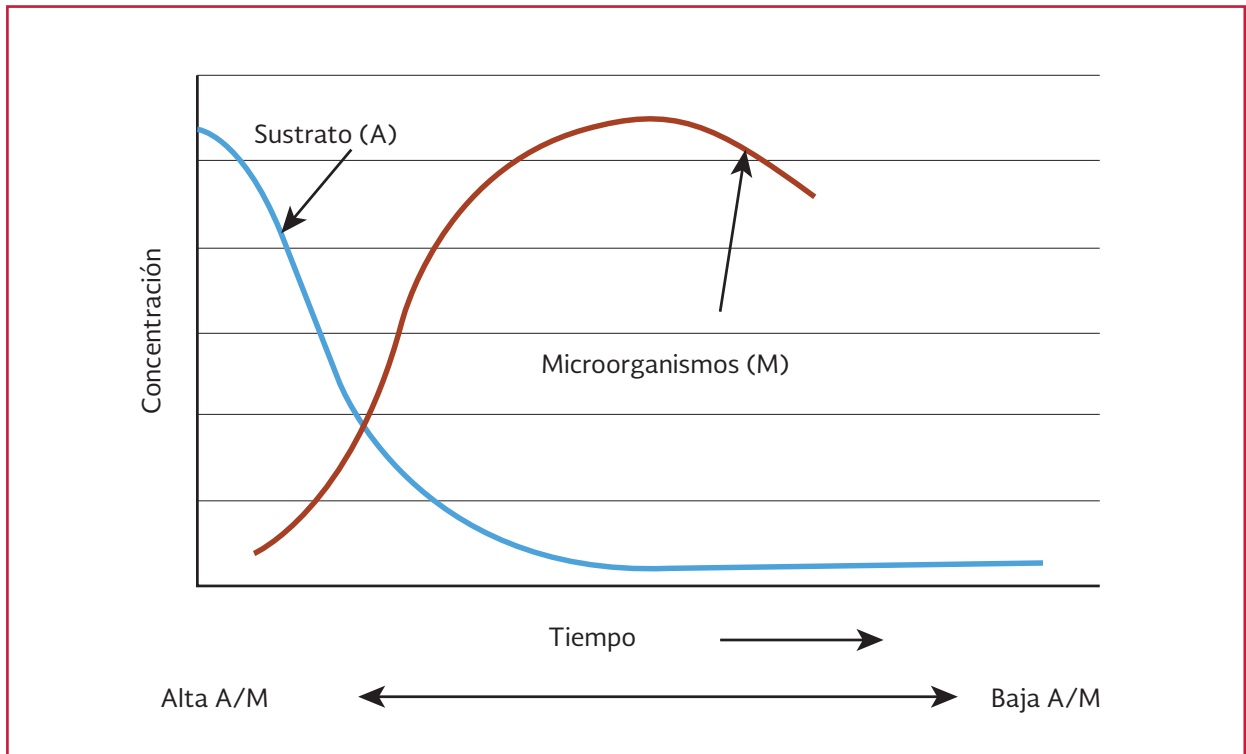
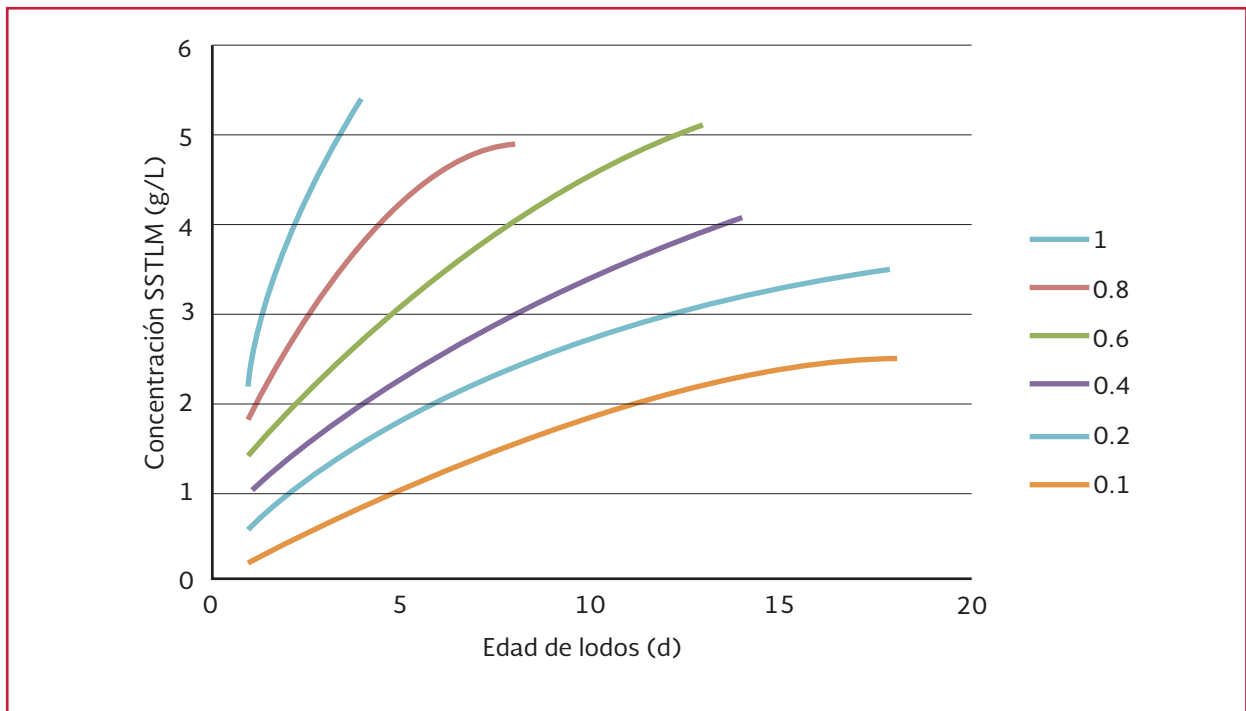


Ilustración 1.48 Relación A/M, edad de lodos y SSTLM



Para relaciones de A/M por arriba del límite superior establecido de acuerdo a la modalidad de lodos activados

Hay un predominio de un tipo de microorganismos de naturaleza filamentosa (*Sphaerotilus*). Este tipo de colonias no decanta bien permaneciendo en suspensión casi continuamente. El lodo esponjado bajo estas condiciones es el que se denomina *bulking*.

Para valores de A/M comprendidos entre estos dos extremos

$$TRMC = \frac{\text{kg de SSVLM en el tanque de aereación}}{\Delta SSV (\text{producción neta de biomasa kg SSV por día})}$$

Ecuación 1.8

La TRMC es una medida del tiempo en que los microorganismos son retenidos en el sistema de tratamiento.

El TRMC afecta directamente a la sedimentación; un lodo joven puede generar un crecimiento biológico disperso caracterizado por sedimentación deficiente; un lodo viejo se caracteriza por baja actividad y densos flóculos que sedimentan rápidamente con poca acción de arrastre, resultando un efluente turbio.

La mejor edad de lodo para una planta en particular, debe seleccionarse de acuerdo con la experiencia en la operación y será aquel que produzca el mejor efluente. La Ilustración 1.49 presenta las edades de lodos típicos para el proceso de lodos activados.

En general, con edades de lodos grandes la producción de lodos será poca, porque el alimento es escaso y los microorganismos estarán en fase endógena, sin embargo, se requerirá una mayor

El lodo tiene buenas características de sedimentación. El lodo bajo estas condiciones se denomina floculante.

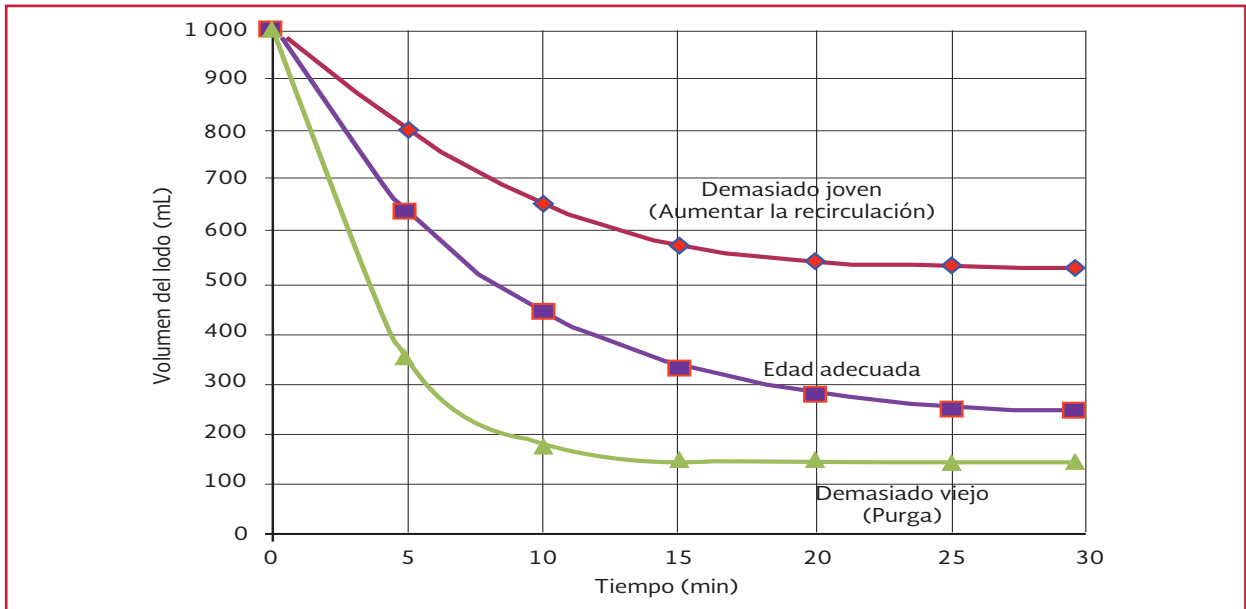
Tiempo de retención medio celular (TRMC)

Otro parámetro de control es el tiempo medio de retención celular o edad del lodo activado. Es un parámetro que se debe mantener en ciertos límites para que la operación de la planta sea eficiente. Los libros de texto definen de diferentes formas este concepto: aquí se puede definir como:

cantidad de oxígeno. Pero con edades pequeñas, la tasa de crecimiento es mayor y la producción de lodos aumenta.

Edades de lodos entre cuatro y siete días son muy comunes en plantas con el propósito de remover sólo DBO, este tipo de plantas son relativamente estables. Plantas con edades de ocho a 12 días nitrifican. Las bacterias nitrificantes crecen y se reproducen más lentamente que las bacterias que eliminan solo materia orgánica. Edades de lodos entre 12 y 20 días garantizan una nitrificación total, especialmente en ambientes fríos. Un lodo nitrificado que permanece por un tiempo prolongado en el sedimentador y sin oxígeno puede presentar desnitrificación, en donde el gas nitrógeno arrastrará lodo hacia la superficie deteriorando la calidad del agua. Edades mayores a 20 días, generalmente se presentan en procesos de aireación extendida. En éste se deberá tener especial cuidado, ya que las bacterias nitrificantes pueden producir demasiado ácido (Romero, 2005). La edad se mantiene controlando la pur-

Ilustración 1.49 TRMC en la curva de sedimentación



ga del sistema. Como guía de operación, la edad de lodos disminuye cuando la purga aumenta y por el contrario aumenta cuando se disminuye la purga.

Una vez que se han seleccionado los valores correctos de A/M y TRMC, se procede a programar la purga de lodos y mantener todos estos parámetros de control en los rangos deseables, sobre todo al arranque de la planta.

Control del gasto de recirculación

El objetivo principal de regresar lodos al tanque de aireación es el de mantener una concentración lo más constante de SSV en el mismo, ya que estos salen más rápido de lo que se reproducen, por lo que si no se realiza esta actividad de retorno se corre el riesgo de que en el reactor vaya disminuyendo paulatinamente la concentración de microorganismos, repercutiendo finalmente en la calidad del agua tratada.

Es recomendable que la recirculación se realice en continuo, ya que de otra forma la concentración de SSVLM disminuirá paulatinamente y después aumentará drásticamente, en ambos casos nunca se tendrá la concentración adecuada de SSV en el reactor biológico provocando problemas en la calidad del agua tratada, principalmente en la remoción de materia orgánica. Además, de una excesiva acumulación de lodo en el sedimentador secundario.

Una recirculación óptima depende de diversos factores, tales como: DBO del afluente, velocidad de reproducción celular, temperatura, SSVLM y SSV en la recirculación. Sin embargo, el operador tiene poco o ningún control sobre alguno de estos factores. A pesar de depender de estos factores, el gasto de recirculación puede calcularse basándose en requisitos de operación, variando de acuerdo a las estaciones del año. A continuación se presenta la determinación del gasto de recirculación:

$$Q_r = \frac{Q_i * SSVLM}{SSVr - SSVLM} \quad \text{Ecuación 1.9}$$

donde:

- Q_r = Gasto de recirculación
- Q_i = Gasto de de entrada
- $SSVLM$ = Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado
- $SSVr$ = Sólidos suspendidos volátiles en la recirculación

Control de la purga

Como se ha estado mencionando, el proceso de lodos activados se basa en la oxidación de materia orgánica mediante microorganismos, los cuales continuamente se están reproduciendo y desarrollando, por lo que con el tiempo la concentración de SSVLM en el reactor aumenta progresivamente, alejándose de la concentración de operación. Por lo que es necesario purgar diariamente el lodo en exceso que se ha producido. Esto hace que el control de la purga sea la primera herramienta de operación de una planta de lodos activados.

La determinación de la purga de lodos se basa en la producción neta de biomasa por día y se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_p = \frac{\Delta SSV - (Q_f * SSV_f)}{SSVr - SSV_f} \quad \text{Ecuación 1.10}$$

donde:

- Q_p = Gasto de purga de lodos
- ΔSSV = Producción neta de biomasa
- Q_f = gasto de agua residual tratada
- SSV_f = Sólidos suspendidos volátiles en el agua residual tratada
- $SSVr$ = Sólidos suspendidos volátiles en la recirculación

En el apartado D.4 del anexo se presentan una serie de formatos guía, que pueden ser utilizados para realizar un control de operación diario de la planta utilizando los indicadores analíticos antes descritos. Esto, en el entendido de que cada PTAR es un caso en particular y que éstos pueden ser modificados a su conveniencia.

Por otra parte, se recomienda que esta evaluación se realice de manera rutinaria, en donde algunas actividades se podrán realizar hasta tres veces en un día, algunas una sola vez y otras posiblemente una o dos veces a la semana, esto dependerá de cómo se establezca el control de la PTAR entre el supervisor y los operadores.

1.2 TALLER DE CÁLCULOS

1.2.1 BALANCE DE MASA

A continuación se presentan una serie de cálculos para el control del tanque de aireación,

estos se dividen en un sistema convencional y uno de aireación extendida. Los reactores se consideran con mezcla completa. En la Ilustración 1.50 se presenta en las principales corrientes y los datos iniciales son los siguientes (Tabla 1.6).

Tabla 1.6 Datos iniciales para el control del tanque de aireación

Datos iniciales		Convencional		Aireación extendida	
		L/s	m ³ /d		
Gasto	Q	75.00	6 480.00		
		mg/L	Kg/m ³		
Demanda bioquímica de oxígeno de entrada	DBOe	300.00	0.30		
Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado	SSVLM	2 500.00	2.50	3 500.00	3.50
Sólidos suspendidos volátiles en el lodo de recirculación	SSVr	10 000.00	10.00	10 000.00	10.00
Sólidos suspendidos volátiles iniciales	SSVi	20.00	0.02	20.00	0.02
Sólidos suspendidos volátiles a la salida	SSVs	30.00	0.03	30.00	0.03
Nitrógeno amoniacal inicial	SiNH ₃	45.00	0.05		
Nitrógeno amoniacal final	SeNH ₃	5.00	0.005		
Fósforo inicial	SiPT	4.00	0.004		
Fósforo final	SePT	1.00	0.001		
Volumen del reactor (m ³)	Vr	2 000.00		7 000.00	
Velocidad de consumo de sustrato, 17 a 30 (m ³ /kg d)	K	17.00			
Respiración endógena, 0.01 a 0.06 (d ⁻¹)	Kd	0.03			
Metabolismo celular, 0.5 a 0.6 (kg SSVLM/kg DBO consumida)	Y	0.60			
Altitud sobre el nivel del mar (m)	At	1 500.00			
Temperatura ambiente (° C)	T	25.00			
Coefficiente de transferencia de oxígeno, 0.04 a 0.16	r	0.08			

Ilustración 1.50 Esquema e identificación de corrientes

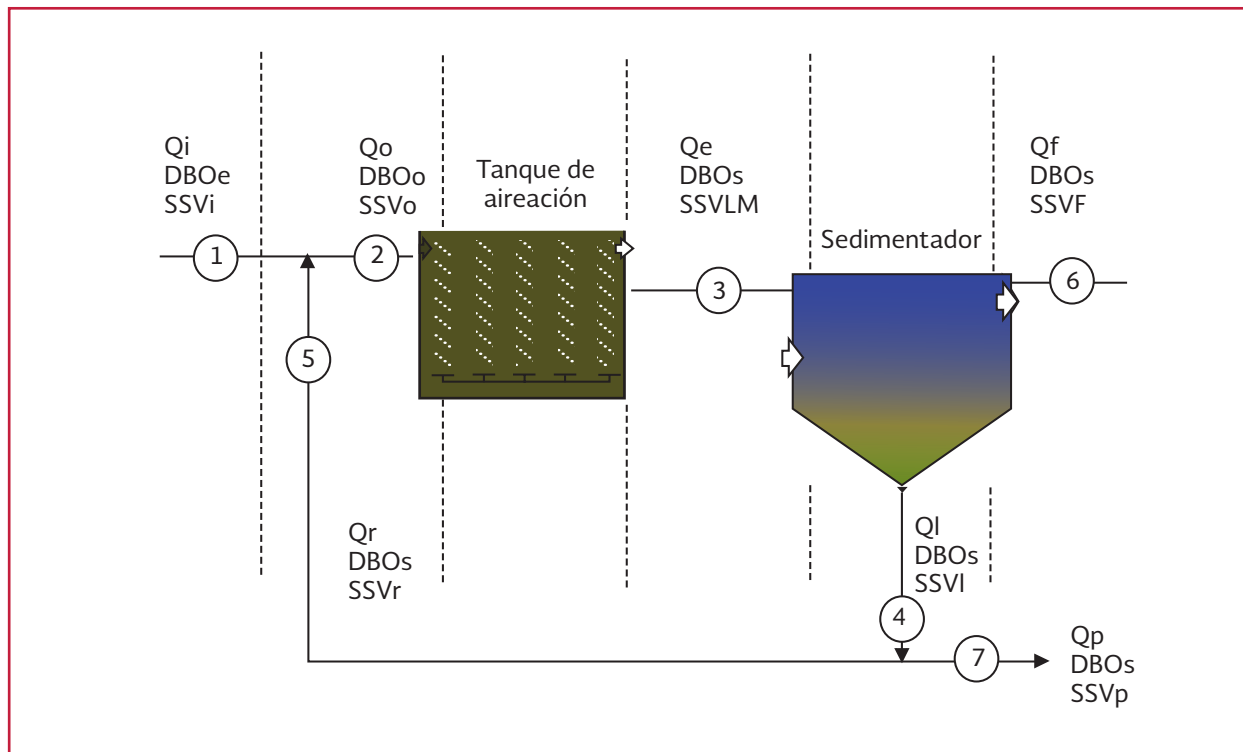


Tabla 1.7 Cálculos para el control del tanque de aireación

	Convencional		Aireación extendida	
a) Cálculo del tiempo de residencia	(4 a 8 h)	(15 a 36 h)		
$tr = \frac{V}{Q}$	h	min	h	min
tr = Tiempo de residencia	7.41	444.44	25.93	1 555.56
b) Cálculo de la DBO de salida			DBOs = DBOe - ((tr*k*d*SSVLM) / (0.7*Y))	
$DBOs = \frac{DBoe}{(tr * k * SSVLM) + 1}$	kg/m ³	mg/L	kg/m ³	mg/L
DBOs = Demanda bioquímica de oxígeno de salida	0.021	1.28	0.030	1.80
c) Cálculo de la relación alimento / microorganismos				
$\frac{A}{M} = \frac{Q * DBOe}{V * SSVLM}$	(0.2 a 0.6 Kg DBO/kg SSVLM d)	(0.05 a 0.15 Kg DBO/kg SSVLM d)		
A/M = Relación alimento / microorganismos	0.39		0.0793	
d) Cálculo de producción neta de biomasa				
$\Delta SSV = Y * Q * (DBOe - DBOs) - Kd * SSVLM * Vr$	kg/d	mg/s	kg/h	mg/s
ΔSSV = Producción neta de biomasa	933.78	38.91	315.00	13.13
e) Cálculo de la relación de recirculación				
$R = \frac{(Q * SSVLM) - \Delta SSV}{Q * (SSVr - SSVLM)}$			$R = \frac{SSVLM - (0.23Y * (DBOe - DBOs))}{SSVr - SSVLM}$	
R = Relación de recirculación		0.31		0.53

Tabla 1.7 Cálculos para el control del tanque de aireación (continuación)

	Convencional			Aireación extendida		
f) Cálculo del gasto de recirculación						
$Q_r = R * Q$	m ³ /d	m ³ /h	L/s	m ³ /h	m ³ /d	L/s
$Q_r =$ Gasto de recirculación	2 035.50	84.81	23.56	1 43.84	3 452.08	39.95
g) Cálculo del gasto combinado						
$Q_o = Q + Q_r$	m ³ /d	m ³ /h	L/s	m ³ /h	m ³ /d	L/s
$Q_o =$ Gatos combinado	8 515.50	354.81	98.56	413.84	9 932.08	114.95
h) Cálculo del gasto de purga de lodos						
$Q_p = \frac{\Delta SSV - (Q * BDO_s)}{SSV_r - SSV_s}$	m ³ /d	m ³ /h	L/s	m ³ /d	m ³ /h	L/s
$Q_p =$ Gasto de purga de lodos	79.85	33.27	0.92	12.14	505.68	0.14
i) Cálculo del gasto de lodo de salida del sedimentador						
$Q_l = Q_p + Q_r$	m ³ /d	m ³ /h	L/s	m ³ /h	m ³ /d	L/s
$Q_l =$ gasto de salida del sedimentador secundario	2 115.35	88.14	24.48	144.34	3 464.22	40.10
j) Cálculo del gasto de salida						
$Q_s = Q - Q_p$	m ³ /d	m ³ /h	L/s	m ³ /h	m ³ /d	L/s
$Q_s =$ Gasto de agua clarificada o salida	6 400.15	266.67	74.08	269.49	6 467.86	74.86
k) Cálculo de la DBO a la entrada del tanque de aireación						
$DBO_o = \frac{(Q_i * DBO_e) + (Q_r * DBO_s)}{Q_o}$	kg/m ³	mg/L	mg/L	kg/m ³	kg/m ³	mg/L
$DBO_o =$ DBO a la entrada del tanque de aireación	0.23	233.37	0.21	206.14	0.21	206.14
l) Cálculo de los SSV a la entrada del tanque de aireación						
$SSV_o = \frac{(Q * SSV_i) + (Q_r * SSV_r)}{Q_o}$	kg/m ³	mg/L	mg/L	kg/m ³	kg/m ³	mg/L

Tabla 1.7 Cálculos para el control del tanque de aireación (continuación)

	Convencional	Aireación extendida
SSVo = Sólidos suspendidos volátiles a la entrada del reactor	2.41	3.48
Estos deben ser iguales o muy próximos a los SSVLM	2.50	3.50
m) Tiempo medio de retención celular (edad de lodos)	5 a 15 (recomendado)	20 a 60 (recomendado)
$TMRC = \frac{SSVLM * Vr}{\Delta SSV}$	5.35	77.78
TRMC = Tiempo medio de retención celular		

En la Ilustración 1.51 y en la Tabla 1.8 se presenta un resumen de los valores antes calculados para el proceso convencional y localizado en su respectiva corriente.

En la Ilustración 1.52 y en la Tabla 1.9 se presenta un resumen de los valores antes calculados para el proceso de aireación extendida y localizados en su respectiva corriente.

Ilustración 1.51 Resumen del balance de masas de proceso convencional

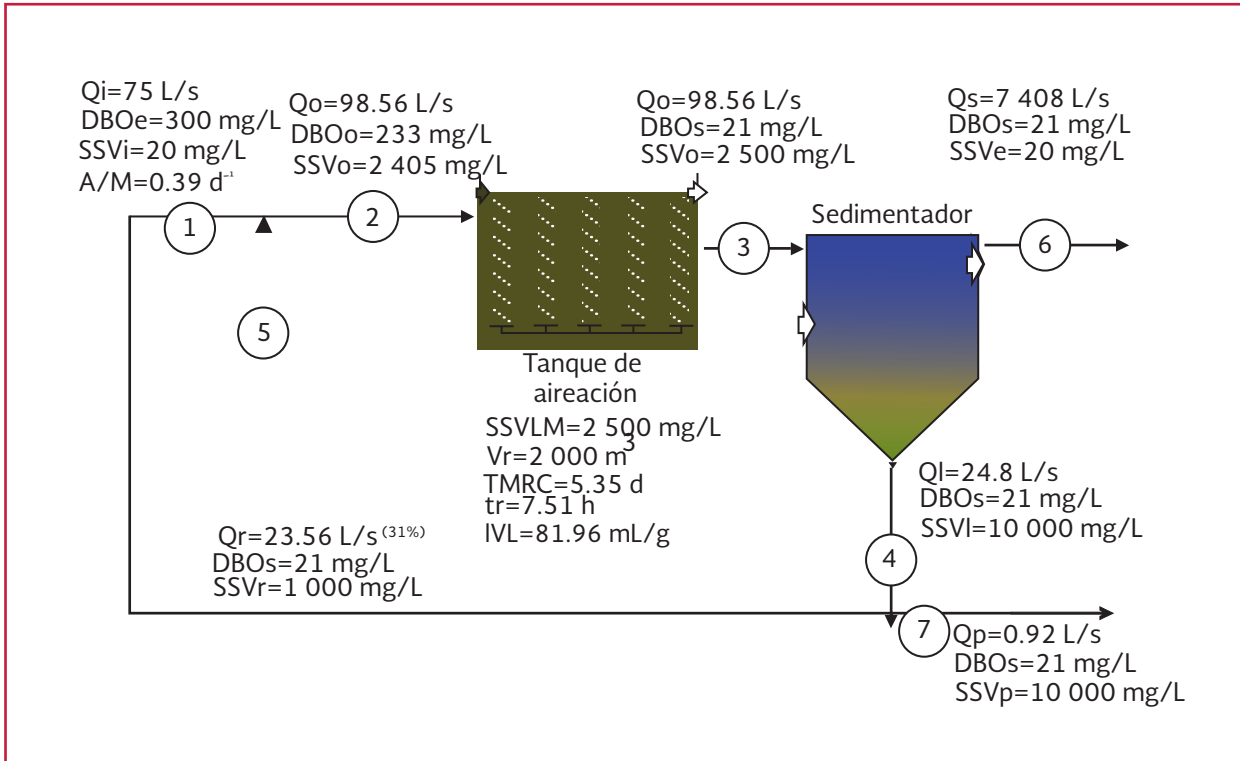


Tabla 1.8 Balance de masa por número de corriente

Corriente	1	2	3	4	5	6	7
Caudal (L/s)	75.00	98.56	98.56	24.48	23.56	74.08	0.92
DBO (mg/L)	300	233	21	21	21	21	21
SSV (mg/L)	20	2 405	2 500	10 000	10 000	30	10 000

Ilustración 1.52 Resumen del balance de masas de proceso de aireación extendida

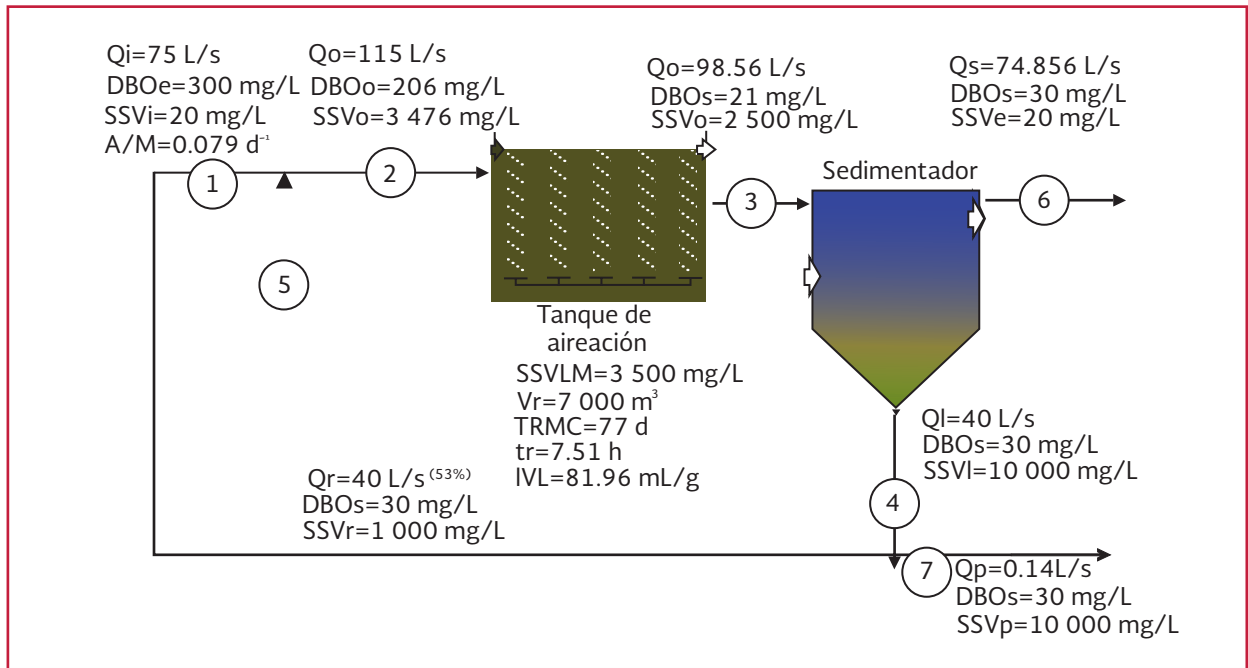


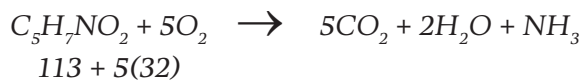
Tabla 1.9 Balance de masa por número de corriente

Corriente	1	2	3	4	5	6	7
Caudal (L/s)	75.00	11.005	115.00	40.00	40.00	74.86	0.14
DBO (mg/L)	300	206	30	30	30	30	30
SSV (mg/L)	20	3 476	3 500	10 000	10 000	30	10 000

1.2.2 REQUERIMIENTOS DE AIRE

n) Volumen de aire

Consumo de oxígeno

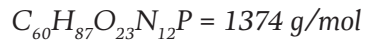


$5(32)/113 = 1.42 \text{ Unidades de } O_2 / \text{Unidad de biomasa oxidada}$

	Convencional		Aireación extendida	
Oxígeno por oxidación de materia orgánica	kg O_2 /d		kg O_2 /d	
$kg \text{ } O_2 / d = Q[1 - 1.42(Y)](DBO_E - DBO_S) + 1.42(K_d)(SSV_{LM})(V)$	480.33		1 302.70	
Más nitrificación	kg O_2 /d		kg O_2 /d	
$kg \text{ } O_2 / d = Q[1 - (1.42Y)](DBO_E - DBO_S) + 1.42(K_d)(SSV_{LM})(V) + 4.57(Q)(SiNH - SeNH)$	1 664.88		2 487.24	
Con nitrificación menos formación de células	kg O_2 /d		kg O_2 /d	
$kg \text{ } O_2 / d = Q[1 - (1.42Y)](DBO_E - DBO_S) + 1.42(K_d)(SSV_{LM})(V) + 4.33(Q)(SiNH - SeNH)$	1 602.67		2 425.04	
Volumen de aire	m^3/d	L/s	m^3/d	L/s
$VA = kg \text{ } O_2 / [d(-0.00003At - 0.0009T + 0.2698)r]$	99 027.92	1 146.16	149 841.6	1 734.28

1.2.3 REQUERIMIENTOS DE NUTRIENTES

Composición de un microorganismo



$$\text{Nitrógeno} = 168/1374 = 0.122$$

$$\text{Fósforo} = 31 / 1374 = 0.023$$

	Convencional		Aireación extendida	
Nutrientes disponibles				
<i>ND = Nitrógeno disponible</i>	kg/d	kg/h		
$ND = Q(SiNH^3) - Qs(SeNH)$	259.60	10.82		
<i>PD = Fósforo disponible</i>	kg/d	kg/h		
$PD = Q(SiPT) - Qf(SePT)$	19.52	0.81		
Nutrientes requeridos para la formación de microorganismos				
<i>NM = Nitrógeno requerido por microorganismos</i>	kg/d	kg/h	kg/d	kg/h
$NM = 0.122 (\Delta SSV)$	113.92	4.75	38.43	1.60
<i>PM = Fósforo requerido por microorganismos</i>	kg/d	kg/h	kg/d	kg/h
$PM = 0.023 (\Delta SSV)$	21.48	0.89	7.25	0.30
Balance de nutrientes	kg/d	kg/h	kg/d	kg/h
$BN = ND - NM$	145.68	6.07	221.17	9.22
$BP = PD - PM$	-1.96	-0.08	12.27	0.51

Se requiere adicionar fósforo al sistema

1.2.4 RESUMEN DE RESULTADOS

La Tabla 1.10 presenta un comparativo de los resultados obtenidos por los sistemas convencional y aireación extendida, mientras que la Tabla

1.11 presenta el comparativo con los parámetros recomendados por la literatura.

Tabla 1.10 Resultados del control de proceso de lodos activados

Parámetro	Convencional	A. Extendida	Parámetro	Convencional	A. Extendida
tr (h)	7.41	25.93	Ql (L/s)	24.48	40.00
DBOs (mg/L)	0.021	0.03	Qs (L/s)	74.08	74.86
A/M (d ⁻¹)	0.39	0.079	DBOo (mg/L)	233.00	206.00
SSV (kg/d)	933.78	315.00	SSVo (mg/L)	2 405.00	3 476.00
R	0.31	0.53	TRMC (d)	5.35	77.78
Qr (L/s)	23.56	39.95	Kg O ₂ /d	1 602.67	2 425
Qo (L/s)	98.56	114.95	Vol. de aire (m ³ /d)	99 028	149 841
Qp (L/s)	0.92	0.14			

Tabla 1.11 Comparación de resultados con parámetros recomendados

Proceso	Tipo de flujo	TRMC (d)	A/M	SSVLM (mg/L)	Rec. (%)	IVL (mL/g)	tr(h)
Convencional	Recomendado						
	Completamente mezclado	5-15	0.2-0.6	1 500-5 000	25 a 100	150 a 35	3-8
	Ejercicio						
	Completamente mezclado	5.35	0.39	2 500	31	81.96	7.41
Aireación extendida	Recomendado						
	Completamente mezclado	20-30	0.05-0.15	3 000-6 000	50-150	150 a 35	18-36
	Ejercicio						
	Completamente mezclado	77.78	0.079	3 500	53	81.96	25.93

1.3 REGISTRO DE OPERACIÓN

Una de las funciones más importantes de un operador es la preparación y mantenimiento adecuado del registro de los datos que se generan en la misma. Los registros de operación pueden ser separados en dos categorías:

- Registros físicos
- Registros de desempeño

1.3.1 REGISTROS FÍSICOS

Estos registros describen las instalaciones y equipos de la planta e incluyen:

- Criterios de diseño de la planta. Básicamente es la memoria de cálculo y en ella están las bases bajo las cuales se diseñó la PTAR, para proporcionar una calidad de agua estipulada
- Planos de la planta. Comprende los arquitectónicos, funcionales, estructurales, eléctricos e hidráulicos
- Manual de operación. Establece las políticas de operación y control de la

PTAR para obtener la calidad de agua requerida

- Registro de equipos que incluya:
- Nombre del proveedor
- Fecha de compra
- Modelo
- Capacidad
- Principales características
- Registro del mantenimiento de cada equipo. Consiste en tarjetas en donde se tienen las principales características de cada equipo, su clasificación, las actividades de mantenimiento que se deben realizar y fecha y personal que realizó el mantenimiento
- Registros de costos de compra y reparación de equipos. Si la PTAR cuenta con un almacén es muy conveniente llevar este registro, ya que facilitará la adquisición de refacciones y la pronta reparación de equipos

1.3.2 REGISTROS DE DESEMPEÑO

Estos registros describen la operación de la planta y proveen de información tanto al operador como a cualquier persona que lo quiera,

ya que es en realidad un registro histórico. Estos resultados o registros deberán ser utilizados por el operador para resolver los problemas que se presenten en el proceso y para anticiparse a necesidades futuras. Además, los registros también pueden ser empleados para requerimientos legales o de regulación establecidos por el gobierno. Los posibles registros pueden ser los siguientes:

a) Registro diario de operación que incluyan

- Operador en turno, fecha, hora de entrada y salida
- Recepción de agua residual
- Operación de equipos electromecánicos
- Determinaciones de gasto de entrada
- Operación del sistema de tratamiento de agua residual
- Operación del sistema de tratamiento de lodos
- Evaluación de indicadores visuales

b) Registro diario de calidad del agua

- Parámetros de campo en la entrada y salida; conductividad, pH, temperatura, color y turbiedad
- Pruebas de sedimentabilidad
- Determinación de índice volumétrico de lodos.
- Determinación de colchón de lodos
- Determinación de cloro residual
- Determinación de parámetros de control; DBO de entrada y salida, SSV de licor mezclado, de recirculación y de salida, etc. (Este puede ser realizado una vez por semana si se cuenta con un laboratorio, de lo contrario se recomienda realizar una vez por mes por medio de un laboratorio externo)

c) Registro de fallas de equipo

- Registro de refacciones
- Elaboración de reportes de fallas de equipos
 - Diarios
 - Semanales
 - Mensuales
 - Anuales

En apartado D.4 del anexo se presentan algunos formatos que pueden dar una idea de cómo registrar la información diaria de operación y que puede ser empleada para elaborar los reportes requeridos.

1.3.3 ACTIVIDADES DE OPERACIÓN

Las posibles actividades de operación de las diferentes unidades se describen a continuación. Los resultados de estas actividades deberán ser registrados en bitácoras de operación o formatos. Un ejemplo de esto se presenta en el punto 3.5.4.

Calidad del agua

Para poder establecer un control de la operación y realizar ajustes de recirculación y purga de lodos, así como para conocer la eficiencia de la PTAR, es necesario conocer la calidad del agua de entrada y salida, por tal motivo se deberán llevar a cabo las siguientes determinaciones:

- Temperatura (°C)
- pH
- Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- Sólidos suspendidos totales (SST) (mg/L)
- Color (UPtCo)
- Turbiedad (UTN)
- Nitrógeno amoniacal (NH_3) (mg/L)
- Nitrógeno de nitratos (N-NO_3) (mg/L)

- Fósforo total (PT) (mg/L)
- Demanda química de oxígeno (DQO) (mg/L)
- Demanda bioquímica de oxígeno* (DBO) (mg/L)
- Coliformes fecales* (CF) NMP en 100 mL

*La determinación de estos parámetros es un poco laboriosa y requiere de equipos un tanto más especializados y costosos, por lo que es recomendable que sean realizados por un laboratorio externo acreditado, y por lo menos una vez al mes.

Para determinar la temperatura, el pH y la conductividad se puede emplear un multiparámetro de campo como el que se presenta en la Ilustración 1.53, para la turbiedad el equipo que se presenta en la Ilustración 1.54, para el resto de los parámetros se puede emplear un colorímetro (Ilustración 1.55), sin embargo, para el fósforo y la DQO se requiere primero digerir la muestra por lo que es necesario contar con un digestor (Ilustración 1.56).

Adicionalmente, se requiere contar con las celdas y los reactivos necesarios, así como de micropipetas para poder realizar los análisis (Ilustración 1.57). Actualmente, existen una serie de proveedores en el mercado que facilitan la adquisición de estos equipos, reactivos y materiales. Cabe mencionar que el empleo de los equipos antes mencionados proporcionan valores semicuantitativos y que no rempazan a los de un laboratorio acreditado. Pero si son una herramienta útil al generar elementos guía para la operación y control de la PTAR.

Rejillas

Es importante tomar en consideración el flujo de agua que entra en las horas pico, ya que probablemente será el momento en que lleguen más sólidos grandes a la planta de tratamiento. Por lo que los operadores deberán estar preparados para realizar las limpiezas de las rejillas con más frecuencia, para evitar taponamientos, si éstas

Ilustración 1.53 Multiparámetro



Ilustración 1.54 Turbidímetro



Ilustración 1.55 Colorímetro



Ilustración 1.56 Digestor



Ilustración 1.57 Reactivos y material



son manuales, pero si son automáticas se deberá considerar la capacidad del contenedor y realizar recorridos para evitar atascamientos.

- Verificar que no exista corrosión en las rejillas. Si existe, examinar el fondo del canal por posible acumulación de materia orgánica que está generando ácido sulfhídrico
- Realizar un buen programa de recolección y disposición de basura, para evitar malos olores y generación de insectos (Ilustración 1.58)

Lavar el área circundante diariamente con una solución de cloro o de peróxido de hidrógeno.

Ilustración 1.58 Limpieza manual de rejillas



Sedimentador primario

Si no se realiza una buena operación se pueden presentar problemas de olor, que puede ser generado por un mal retiro de natas o que los lodos permanecen mucho tiempo en la unidad generando condiciones anaerobias, además se provoca una sobrecarga de sólidos y DBO hacia el tratamiento secundario.

- Remover los sólidos acumulados en la entrada y salida del agua, en mamparas, vertedores y caja de recolección de natas. Así, como cepillar las canalas de recolección de agua (Ilustración 1.59)

- Determinar el nivel de lodos y su concentración. En la Ilustración 1.60 se muestra como está constituido un muestreador de lodos y en la Ilustración 1.61

Ilustración 1.59 Limpieza de sedimentador primario



Ilustración 1.61 Determinación del manto de lodos



Tanque de aireación

La operación efectiva del equipo de aireación mecánica debe minimizar el consumo de energía y maximizar su funcionamiento. La operación se enfocará al control de la concentración de oxígeno disuelto en el líquido aerado y proporcionar la mezcla mínima requerida en el sistema.

como se realiza la determinación

- Verificar el flujo de purga
- Verificar el retiro de natas y su correcta eliminación (Ilustración 1.62)

Ilustración 1.60 Muestreador de lodos

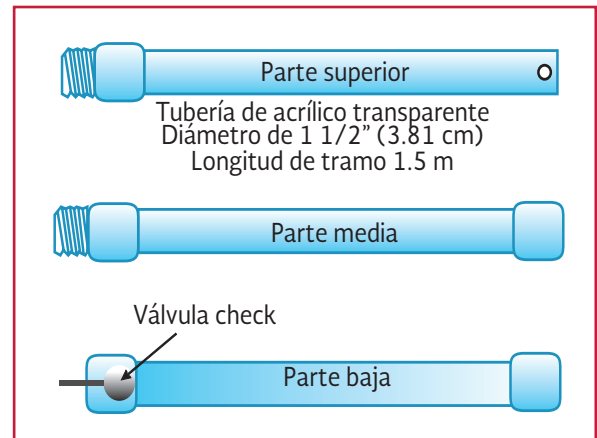


Ilustración 1.62 Desnatador en operación



Generalmente, la concentración de oxígeno disuelto se establece entre 1 y 2 mg/L, a temperaturas cercanas a los 20 °C; el consumo de energía para proporcionar 4 mg/L de oxígeno en lugar de 2 mg/L puede aumentar entre un 5 y 40 por ciento. Debido a que el consumo de energía en aireación es uno de los mayores costos de operación de la planta no se debe sobreoxigenar el licor mezclado.

Las técnicas de control dependen totalmente del equipo de aireación.

- Verificar diariamente la distribución de agua de entrada y de los lodos de retorno.
- Limpiar diariamente entradas y salidas de agua y retirar la materia flotante
- Verificar y registrar cada dos horas el oxígeno disuelto (OD), pH, temperatura y sólidos suspendidos totales (SST) (Ilustración 1.63). Para realizar esta actividad se pueden emplear los equipos portátiles que se muestran en la Ilustración 1.53 y en la Ilustración 1.55
- Realizar dos veces por día el índice volumétrico de lodos (IVL) (Ilustración 1.64)
- Verificar diariamente el color y olor del licor mezclado.

Sedimentador secundario

En esta unidad, al igual que en el primario, si no se realiza una buena operación se pueden presentar problemas de olor, que puede ser generado por un mal retiro de natas o que los lodos permanecen mucho tiempo en la unidad

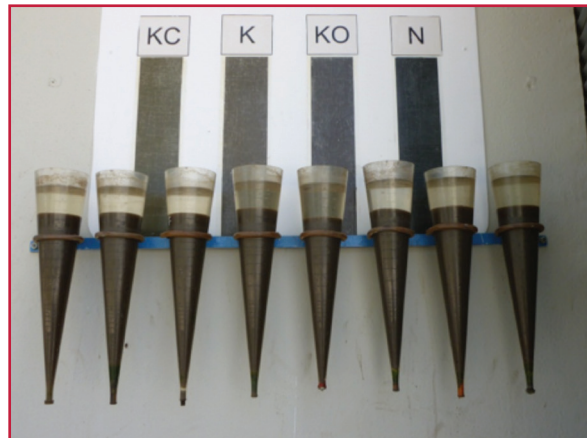
Ilustración 1.63 Medición de parámetros en tanque de aireación



generando condiciones anaerobias, además se provoca una sobrecarga de sólidos y DBO fuera de especificaciones y repercute en el proceso de desinfección.

- Remover los sólidos acumulados en la entrada y salida del agua, en mamparas, vertedores y caja de recolección de natas. Así, como cepillar las canaletas de recolección de agua (Ilustración 1.65)
- Determinar el nivel de lodos con el equipo que se muestra en la Ilustración 1.66 y ajustar de ser necesario
- Determinar concentración de lodos empleando el equipo que se muestra en la Ilustración 1.55
- Verificar el retiro de natas y su correcta eliminación
- Verificar el flujo de retorno de lodos y realizar ajustes de acuerdo a indicaciones de laboratorio. Tomar en cuenta el balance de masa que se presenta en el punto 2.2.1
- Verificar el flujo de purga y ajustar de ser necesario. Tomar en cuenta el balance de masa que se presenta en el punto 2.2.1

Ilustración 1.64 Prueba de sedimentabilidad



Cloración

Es uno de los procesos unitarios en los que se debe tener especial cuidado porque en él se realiza la eliminación de coliformes fecales, los cuales pueden tener un impacto negativo, en especial sobre la salud humana, si éstos no son removidos adecuadamente. Esta causa puede ser debida a que no se está empleando la dosis además del desinfectante. Por otro lado, si se trabaja con una sobredosificación se afectará directamente el costo de operación. Por tal motivo, se describe a continuación el procedimiento para determinar el punto de quiebre y por tanto la dosis de cloro requerida para realizar una desinfección satisfactoria.

Material y equipo

- 1 Matraz volumétrico de 1 000 mL
- 11 Matraces Erlenmeyer de 250 mL
- 1 Pipeta volumétrica 10 mL o 1 Micropipeta de 0.5 a 10 mL y 10 puntas para micropipeta
- 1 Pipeta volumétrica 1 mL o 1 Micropipeta de 50 a 1 000 μ L y 10 puntas para micropipeta

- 1 Cronómetro
- 2 Perillas
- 2 Pipetas Pasteur
- Papel parafilm
- Espectrofotómetro o colorímetro
- 5 celdas de 10 mL para espectrofotómetro o colorímetro

Reactivos

- Hipoclorito de sodio comercial (NaOCl al 13 por ciento)
- Reactivo para determinar cloro libre (DPD)

Procedimiento

Solución patrón de cloro

1. Tomar 7.7 mL de hipoclorito de sodio comercial, y aforar con agua deionizada a un litro; esta dilución puede variar dependiendo del porcentaje de cloro que contenga el desinfectante utilizado.
2. La concentración real de la solución patrón se calcula con la siguiente fórmula:

$$C_2 = \frac{C_1 V_1}{V_2} \quad \text{Ecuación 1.11}$$

Ilustración 1.65 Limpieza de canaletas



Ilustración 1.66 Determinación del manto de lodos



donde:

C_1 = Concentración de la solución patrón

V_1 = Volumen de aforo de la solución patrón

C_2 = Concentración de la dilución

V_2 = Volumen de aforo de la dilución

Si el hipoclorito empleado es del 13 por ciento, tiene una concentración de 130 000 mg/L de cloro. Calculando la nueva concentración de la solución patrón se tiene:

$$C_2 = \frac{\left(130\,000 \frac{mg}{L}\right)(7.7 mL)}{1\,000 mL} = 1\,001 \left(\frac{mg}{L}\right)$$

Esto a su vez indica que: 1000 mg de cloro están en 1000 mL o que lo que es lo mismo 1 mL de agua tiene un 1 mg de cloro

3. Tomar 11 matraces Erlenmeyer de 250 ml, en uno colocar 100 ml de agua deionizada, en los restantes 10 colocar en cada uno 100 ml de la muestra de agua a tratar
4. Adicionar a cada matraz una dosis diferente de la solución patrón de hipoclorito de sodio que abarque el intervalo de 1 a 10 mg/L (ver Tabla 1.12). Es importante dejar pasar por lo menos 3 minutos entre cada adición de cloro a cada matraz, esto con la finalidad de poder determinar posteriormente el cloro residual, ya que de otra manera se tendrían que analizar todas las muestras al mismo tiempo.
5. Conviene realizar una primera prueba con dosis muy separadas entre sí, y cuando se tiene idea de donde se encuentra el punto de quiebre, estrechar el rango alrededor de ese punto

6. Tapar con parafilm y agitar suavemente cada uno de los matraces dejando reposar 30 minutos cada uno
7. Después de transcurrido el tiempo de reacción, agregar a cada matraz un sobre de reactivo de DPD y dejar reaccionar
8. Determinar el cloro libre residual con el espectrofotómetro o colorímetro. Si con las dosis de solución de cloro que se usaron no aparece el punto de quiebre, debe seleccionarse otro rango y agregarse a muestras recién colectadas, hasta que se logre determinar el punto de quiebre
9. Anotar los datos obtenidos en el Tabla 1.12, como se muestra en el ejemplo. Graficar el cloro residual libre (mg/L) contra la dosis de cloro (mg^{-1}) para obtener el punto de quiebre o demanda de cloro (Ilustración 1.67)

El punto de quiebre se dio a una dosis de 5 mg/L proporcionando un residual de 1.07 mg/L, si se desea tener un residual cercano a 1.5 mg/L será necesario incrementar la dosis a 9 mg/Litro. Tomar en cuenta que, después del punto de quiebre, el cloro libre es eficaz para la desinfección. La técnica de demanda de cloro se aplica únicamente para concentraciones arriba de 0.5 mg/Litro.

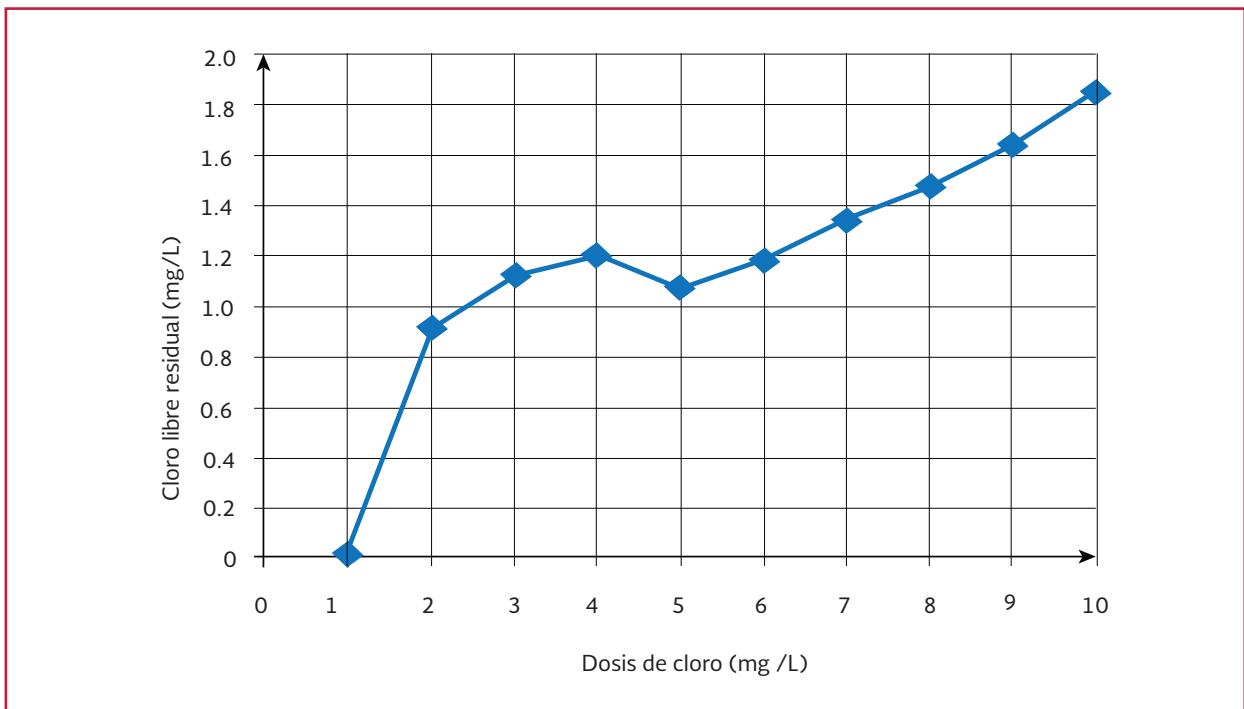
Un aspecto importante a considerar, es que si los procesos unitarios anteriores presentan deficiencias de operación, la materia orgánica que no se removió será oxidada en esta unidad incrementando la dosis de desinfectante y por lo tanto los costos de operación.

Tabla 1.12 Determinación de la demanda de cloro

Matraz	ml de solución patrón para muestra de 100 mL	Dosis de Cl ₂ (mg/L)	Cl ₂ residual libre (mg/L)
1	Blanco	0	0
2	0.1	1.0	0.02
3	0.2	2.0	0.91
4	0.3	3.0	1.12
5	0.4	4.0	1.21
6	0.5	5.0	1.07
7	0.6	6.0	1.18
8	0.7	7.0	1.34
9	0.8	8.0	1.47
10	0.9	9.0	1.64
11	1.0	10.0	1.85

Punto de quiebre = concentración mínim de Cl₂ residual = 1.07 mg/L

Ilustración 1.67 Cloro libre residual en función de la dosis de cloro para obtener la demanda de cloro



- Verificar diariamente la concentración de la solución de cloro
- Verificar las bombas de agua de dilución.
- Verificarla presión de tanques de gas cloro
- Determinar diariamente la concentración de cloro residual con el equipo que se muestra en la Ilustración 1.55 y reactivo correspondiente
- Realizar al menos una vez por semana una análisis de coliformes fecales
- Verificar diariamente el nivel de lodos y ajustar de ser necesario
- Verificar la concentración de SST de salida ajustar de ser necesario

Se recomienda que estas actividades se lleven a cabo de manera rutinaria, en donde algunas se podrán realizar hasta tres veces al día, algunas una sola vez y otras posiblemente una o dos veces a la semana, esto dependerá de cómo se establezca el control de la PTAR entre el supervisor y los operadores.

Espesador de lodos

En estas unidades es muy importante tomar en consideración el tiempo de residencia para evitar que el lodo presente condiciones anaerobias.

- Limpiar las paredes verticales, vertederos y canales diariamente

En apartado D.4 del anexo se presentan una serie de formatos guía (ejemplo) que pueden ser utilizados para registrar las actividades diarias antes mencionadas. Esto, en el entendido de que cada PTAR es un caso en particular y que éstos pueden ser modificados a su conveniencia.

2

MANTENIMIENTO

Una planta debe mantenerse siempre limpia (Ilustración 2.1). Esto favorece al ánimo de los empleados y tiende a mejorar su actitud por el trabajo que realizan. Además, el aspecto que proyectan hacia los usuarios o personas que transitan cerca de ella, favorece su imagen ante la población.

Un buen control del proceso de tratamiento no puede realizarse sin que se siga un programa de mantenimiento.

Cuando una planta ha operado por un largo período, las reparaciones del equipo se vuelven más frecuentes si no se ha seguido un programa de mantenimiento preventivo. Además, algunos equipos pueden volverse obsoletos, ya sea por el paso del tiempo o por la aparición de modelos más modernos. Se justifica el cambio de un equipo cuando éste se vuelve obsoleto o porque no es posible conseguir sus refacciones. Además, el equipo más reciente puede favorecer la eficiencia del tratamiento y reducir los costos de operación.

Ilustración 2.1 PTAR limpia y en buenas condiciones



Es importante recordar que la continuidad del proceso no debe afectarse por la falla o falta de algún equipo.

Un programa de mantenimiento es una parte muy importante en la operación de una planta. Este programa debe ser diseñado de tal manera que asegure la operación satisfactoria de la planta bajo cualquier condición.

El programa debe contener mantenimiento preventivo y rutinario, así como de emergencia. Todas las plantas deben tener escritas las instrucciones de cómo operar y mantener el equipo. Estas instrucciones son de mucha ayuda cuando el operador es nuevo en este tipo de obligaciones o tareas. Los elementos principales que constituyen un programa de mantenimiento son los siguientes:

- Calendarización de actividades
- Registro de bitácoras

- Partes de almacén
- Control de presupuesto y costos
- Procedimientos de reparación de emergencias

Para llevar el registro del mantenimiento diario, se recomienda la utilización de formatos muy sencillos, que incluyan el equipo que comprende cada etapa del proceso, indicándose el tipo de servicio (mecánico o eléctrico) que requiere.

Un documento que puede facilitar o apoyar el desarrollo de las actividades antes descritas, es el manual que el proveedor tiene la obligación de proporcionar cuando se adquiere un equipo.

El manual, generalmente contiene las instrucciones de instalación, operación, mantenimiento y principales fallas, sus causas y solución, un ejemplo de estos se muestran en la Ilustración 2.2 y en la Ilustración 2.3.

Ilustración 2.2 Manuales de bombas

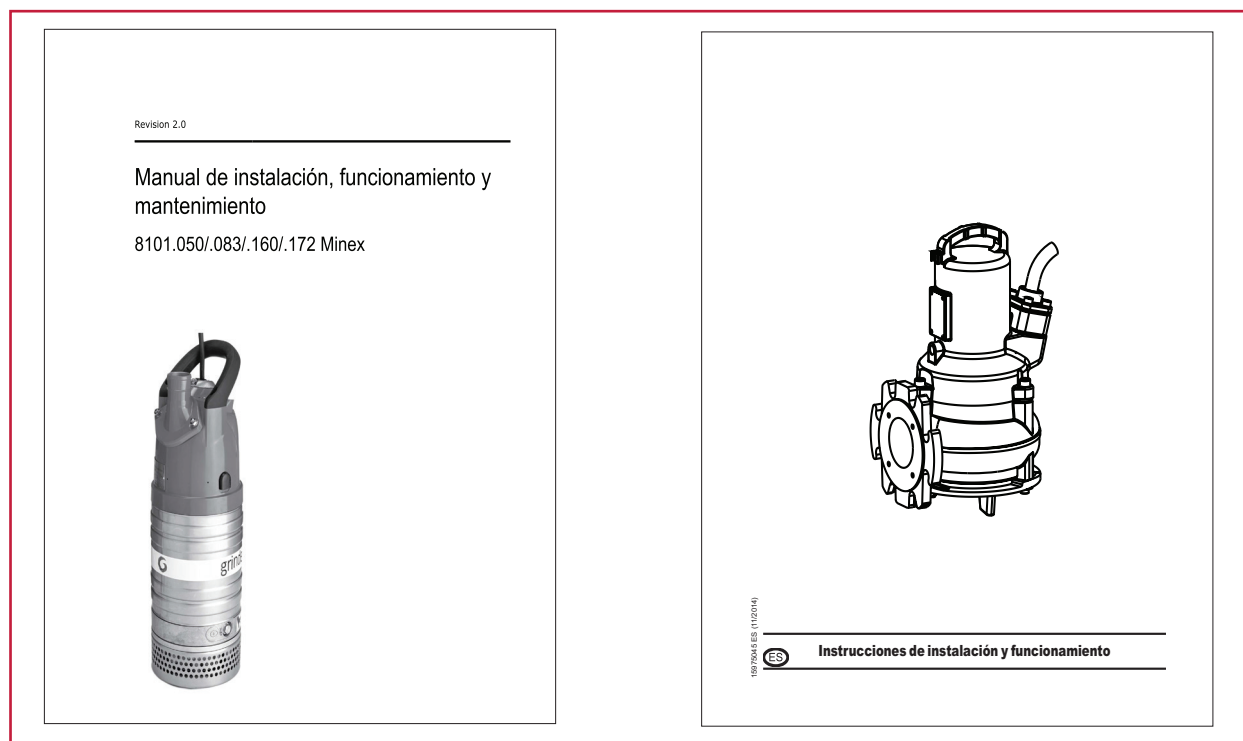



Ilustración 2.3 Actividades de mantenimiento


Mantenimiento

Mantenimiento

Precauciones



PELIGRO:
Desconecte y bloquee la energía eléctrica antes de instalar la bomba o realizar el mantenimiento de la unidad.



ADVERTENCIA:

- Respete siempre las pautas de seguridad al trabajar con la bomba. Consulte *Introducción y seguridad* (página 3).
- Asegúrese de que la unidad no pueda rodar o caer y ocasionar daños personales o materiales.
- Enjuague la unidad completamente con agua limpia antes de trabajar con ella.
- Enjuague los componentes con agua después de desmontarlos.

Asegúrese de seguir los requisitos siguientes:

- Compruebe si existe riesgo de explosión antes de soldar o de utilizar herramientas eléctricas.
- Deje que todos los componentes del sistema y de la bomba se enfrien antes de manipularlos.
- Asegúrese de que el producto y sus componentes se hayan limpiado a fondo.
- No abra ninguna válvula de ventilación o de drenaje ni retire ningún tapón mientras el sistema esté presurizado. Asegúrese de que la bomba esté aislada del sistema y de que haya liberado la presión antes de desmontarla, retirar los tapones o desconectar las tuberías.

Instrucciones de mantenimiento

Durante el mantenimiento y antes de volver a montarlo, recuerde realizar siempre las tareas siguientes:

- Limpie todas las piezas a fondo; en especial los surcos de la junta tórica.
- Cambie todas las juntas tóricas, juntas y arandelas de sellado.
- Engrase todos los muelles, tornillos y juntas tóricas.

Para una protección contra la corrosión óptima, es necesario recubrir las juntas tóricas y las superficies adyacentes con Exxon Mobil Unirex N3 o equivalente.

30

Mantenimiento

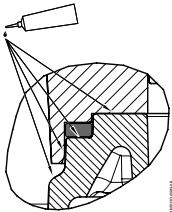


Imagen 5: Ejemplo de superficies adyacentes a juntas tóricas

Durante el nuevo montaje, compruebe siempre que las marcas de referencia estén alineadas.
Una vez rearmada la unidad del motor debe someterse a una prueba de aislamiento y una vez rearmada la bomba siempre debe funcionar en modo de prueba antes del funcionamiento normal.

Valores del par de apriete

Los tornillos y las tuercas deben lubricarse para que puedan alcanzar el par de apriete correcto. Las roscas de los tornillos que vayan a utilizarse en acero inoxidable deben recubrirse con los lubricantes apropiados para prevenir su agrietamiento.
Si tiene alguna duda con respecto a los pares de apriete, póngase en contacto con un representante local de ventas y servicio.

Tornillos y tuercas

Tabla 1: Acero inoxidable, A2 y A4, par Nm (pies-libras)

Clase de propiedad	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30
50	1,0 (0,74)	2,0 (1,5)	3,0 (2,2)	8,0 (5,9)	15 (11)	27 (20)	65 (48)	127 (93,7)	220 (162)	434 (320)
70, 80	2,7 (2)	5,4 (4)	9,0 (6,6)	22 (16)	44 (32)	76 (56)	187 (138)	364 (268)	629 (464)	1.240 (915)
100	4,1 (3)	8,1 (6)	14 (10)	34 (25)	66 (49)	115 (84,8)	248 (183)	481 (355)	—	—

31

2.1 CALENDARIZACIÓN DE ACTIVIDADES

Esta es la columna vertebral del programa de mantenimiento.

Los esfuerzos de la realización de la calendarización se deben enfocar a tareas específicas a realizar en periodos de tiempo congruentes preestablecidos. La siguiente información es importante cuando se considera desarrollar un plan.

- Procedimientos de rutina
- Procedimientos especiales (reparación general)
- Necesidades del conocimiento de técnicas de mantenimiento y reparación
- Requerimientos de herramientas especiales y de equipo
- Disponibilidad de partes de repuesto

2.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento de una planta no debe basarse solamente en las deficiencias que se detecten en la supervisión diaria del equipo. Tal como se muestra en la Tabla 2.1 y en el Anexo E, se debe contar con un programa de mantenimiento preventivo, que indique fechas y actividades a realizar a fin de contrarrestar los problemas operativos. En las operaciones de rutina de una planta, el personal de mantenimiento debe inspeccionar que todos los equipos mecánicos y eléctricos operen correctamente y realizará las siguientes actividades de mantenimiento.

- Los motores deben estar libres de suciedad y de humedad
- Asegurarse que los equipos que se encuentran dentro de instalaciones cerradas tengan una buena ventilación

Tabla 2.1 Programa de mantenimiento de julio a diciembre

Equipo	Localización	Jul		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic		Observaciones y/o bitácora utilizada
		P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	
Cárcamo de bombeo	Pretratamiento													Limpieza general y desazolve de lodo
Bomba sumergible 2	Pretratamiento													Nueva. Garantía de un año, fecha de compra 26-12-01. Verificación diario
Agitador 1	Tanque de aireación 1													Cambio de aceite cada 12 meses y engrasado c/3 meses
Sensor de flujo de aire (Rotámetro)	Tanque de aireación													Limpieza
Tanque de regulación	Módulo de lodos activados													Limpieza y desazolve de lodo
Bomba sumergible 1	Caseta de sopladores													Verificación de platos e impulsor, aceite y limpieza general
Bomba centrífuga 1/4 HP	Alimentación de equipo de monitoreo en línea. (Sedimentación)													Limpieza general, lubricación, engrasado, verificación del impulsor y carcasa.
Soplador 2	Caseta de sopladores													Limpieza de filtro y general, lubricación, engrasado, verificación de: bandas, torque y presión de aire.
Compresor 2-300 psi	Caseta de compresores													Limpieza general, verificación de aceite, bandas, pistones y carcasa.
Rastra del sedimentador	Sedimentador secundario													Limpieza, lubricación y engrasado
Hidroneumático	Sistema terciario													Limpieza y verificación presión
Bombas de recirculación de lodos	Tanque de aireación													Mensualmente

Tabla 2.1 Programa de mantenimiento de julio a diciembre (continuación)

Equipo	Localización	Jul		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic		Observaciones y/o bitácora utilizada
		P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	
Puertas de la planta y laboratorio	Planta y laboratorios													Revisión de instalaciones
Gases	Planta y laboratorios													Revisión de instalaciones
Extintores	Planta y laboratorios													
Revisión de lava ojos y regaderas	Laboratorios													
Verificación de registros														
Balance de cargas	Caseta de control													Cada vez que se instale un equipo

Dónde: P= Programado. R= Real

- Verificar que los motores y bombas no tengan goteras, ruidos inusuales, vibraciones o sobrecalentamiento
- Mantener lubricadas las partes que lo requieran y verificar los niveles de aceite en los equipos que lo necesitan
- Verificar la alineación de flechas y acoplamientos
- Verificar sobrecalentamiento de chumaceras y su lubricación
- Verificar la operación apropiada de válvulas y bombas
- Verificar la calibración de dosificadores

Se recomienda que este tipo de actividades se realice diariamente.

2.3 HERRAMIENTAS

Para que sea efectivo un mantenimiento de rutina es necesario conocer apropiadamente el uso de cada herramienta, ya que con esto se asegura que no se dañará el equipo, además de representar seguridad para el operador. Es importante recordar que si no se cuenta con la herramienta adecuada para desarrollar una tarea específica no se podrá realizar un buen programa de mantenimiento.

Es conveniente realizar un control de la herramienta disponible, debido a que de esta manera se podrá reemplazar más fácilmente aquella que se dañe o se reporte como perdida.

Para tal efecto, es apropiado llevar un registro de préstamo en pequeñas papeletas, en donde se registre la fecha de préstamo, nombre del usuario y el tipo de herramienta. Una vez devuelta ésta será cancelada. Además, debe existir una lista general que agrupe a las herramientas por

tipo de uso, la cual se verificará cuando menos una vez por semana.

2.4 PROCEDIMIENTOS ESPECIALES

Estos son muy importantes para poder desarrollar adecuadamente un programa de mantenimiento y se listan a continuación.

- Planes de paro de equipos para minimizar los impactos adversos a la operación de la planta
- Empleo de registros de reparación de equipos y calendario de mantenimiento.
- Preparar procedimientos o referir a las instrucciones del manual de operación para realizar reparaciones o rehabilitaciones de los equipos o para otras tareas en las que se requiera realizar un mantenimiento especial

2.5 REGISTRO DE INFORMACIÓN

A continuación se dan algunas recomendaciones que pueden ser útiles para obtener un buen sistema de registro.

- Cartas con información individual de cada equipo para conformar un inventario
- Calendario de mantenimiento preventivo.
- Lista de partes de repuesto y actualización de las misma semanalmente
- Registro de la calidad del trabajo realizado

Un buen manejo de los datos es una característica importante en la administración de un programa de mantenimiento, ya que proporciona un sistema base para la asignación

de los trabajos diarios y genera a su vez un registro histórico de los trabajos realizados en los equipos, un ejemplo puede ser como el que se muestra a continuación en la Tabla 2.2 (un formato en blanco se puede obtener en el Anexo E).

2.6 MANEJO DE PARTES DE REPUESTO

Algunos equipos, como las bombas tienen partes en común, por ejemplo los soportes de las flechas, cojinetes o chumaceras, las cuales tienen un periodo de vida corto en relación a la vida útil del equipo. Por lo anterior, es importante contar con un número considerado de estas piezas en el almacén.

Las partes de repuesto deben ser almacenadas en base a:

- La importancia de las partes en la operación de la planta
- Disponibilidad
- El efecto en la operación si la partes es defectuosa
- El espacio que ocupe en el almacén

Si las refacciones son rápidamente suministradas por el proveedor, es conveniente no contar con ellas en el almacén, ya que sería un costo innecesario. Un registro histórico de las partes en el almacén indicará cuales son las más requeridas y la cantidad en un periodo de tiempo dado. Además, las partes deberán ser repuestas en un tiempo corto.

Tabla 2.2 Registro de información

Tarjeta de mantenimiento			
Equipo: Bomba sumergible		Marca:	
Modelo: Serie EF		Clave: BA-01	
Ubicación: Cárcamo de bombeo (CB-01)		Bombea: Agua residual	
Mantenimiento			
Cada 3 meses			
Inspección visual de cables eléctricos			
Lavado completo			
Ajuste de liberación de plato de fondo			
Lubricación: Los componentes internos de las bombas se lubrican durante la fabricación y no requieren lubricación adicional.			
Reparación general de la bomba cada 5 años			
ADVERTENCIA: Desconectar todas las fuentes de alimentación de la unidad y descargar todas las piezas que puedan retener carga eléctrica antes de proceder a realizar tareas de mantenimiento o reparaciones. Las pantallas de protección y cubiertas deben permanecer colocadas en el lugar correcto cuando la unidad se encuentra en funcionamiento. El no observar esta advertencia podría ocasionar lesiones.			
Fecha	Trabajo realizado y por quien	Fecha	Trabajo realizado y por quien

2.7 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

A continuación se presentan algunas actividades relevantes y que pueden ser incluidas en un plan de mantenimiento preventivo.

Ilustración 2.4 Limpieza de canales y rejillas

2.7.1 REJILLAS

- Verificar corrosión en las rejillas
- Programar para lijado y pintura
- Limpiar el canal antes y después de las rejillas (Ilustración 2.4)



2.7.2 DESARENADOR

- Verificar cierre de compuertas
- Detectar áreas con corrosión, limpiar y pintar. De ser necesario cambiar partes que no puedan ser reparadas
- Limpieza de canales (Ilustración 2.5)
- Verificar el retiro de arenas y su correcta eliminación

2.7.3 SEDIMENTADOR PRIMARIO

Remover los sólidos acumulados en la entrada y salida del agua, en mamparas, vertedores y caja de recolección de natas (Ilustración 2.6).

- Inspeccionar el equipo mecánico
- Verificar el retiro de natas y su correcta eliminación

Ilustración 2.5 Limpieza de canal desarenador



Ilustración 2.6 Limpieza de entrada y salida de agua del sedimentador



- Verificar, de ser posible, diariamente los motores eléctricos para evitar sobrecargas y calentamientos, provocados por atasques
- Vaciar la unidad por lo menos una vez al año para verificar su estructura y partes mecánicas. Tomando en cuenta mamparas, vertedores, partes mecánicas y paredes (Ilustración 2.7)
- Detectar áreas con corrosión, limpiar y pintar. De ser necesario cambiar partes que no puedan ser reparadas

2.7.4 TANQUE DE AIREACIÓN

- Limpiar diariamente entradas y salidas de agua y retirar la materia flotante.
- Verificar diariamente el sistema de aireación
- Al menos una vez por año vaciar la unidad y verificar la estructura de concreto
- Mantenimiento preventivo periódico, tal como engrasado y aceitado de engranes y baleros, revisión de cables eléctricos y mecanismos de fijación, revisión del desgaste de bandas, etcétera
- Al menos cada seis meses verificar los equipos de aireación si estos son su-

perficiales o sumergibles y si es por difusión de aire (membranas), al menos una vez cada 3 años verificar los difusores y cada seis meses los sopladores (Ilustración 2.8)

2.7.5 SEDIMENTADOR SECUNDARIO

- Remover los sólidos acumulados en la entrada y salida del agua, en mamparas, vertedores y caja de recolección de natas. Así, como cepillar las canaletas de recolección de agua (Ilustración 2.9)
- Inspeccionar el equipo mecánico
- Verificar, de ser posible, diariamente los motores eléctricos para evitar sobrecargas y calentamientos, provocados por atasques
- Vaciar la unidad por lo menos una vez al año para verificar su estructura y partes mecánicas. Tomando en cuenta mamparas, vertedores, partes mecánicas y paredes. Detectar áreas con corrosión, limpiar y pintar. De ser necesario cambiar partes que no puedan ser reparadas

Ilustración 2.7 Mantenimiento preventivo y ajuste de rastra



Ilustración 2.8 Revisión de difusores



2.7.6 CLORACIÓN

- Inspeccionar una vez a la semana el estado de los difusores
- Inspeccionar una vez a la semana el estado de sistema de cloración (Ilustración 2.10)
- Vaciar la unidad por lo menos una vez al año para verificar su estructura y remover acumulaciones de lodo en las esquinas (Ilustración 2.11)

2.7.7 ESPESADOR DE LODOS

- Limpiar las paredes verticales, vertedores y canales diariamente
- En equipo eléctrico verificar operación, temperatura y ruidos extraños
- Vaciar la unidad por lo menos una vez al año para verificar su estructura y partes mecánicas. Tomando en cuenta mamparas, vertedores, partes mecánicas y paredes. Detectar áreas con corrosión,

Ilustración 2.9 Limpieza de canales



Ilustración 2.10 Sistema de cloración



Ilustración 2.11 Verificación de acumulación de lodos



limpiar y pintar. De ser necesario cambiar partes que no puedan ser reparadas (Ilustración 2.12)

2.7.8 DIGESTOR

- Limpiar diariamente entradas y salidas de agua y retirar la materia flotante
- Verificar diariamente el sistema de aireación
- Al menos una vez por año vaciar la unidad y verificar la estructura de concreto.
- Mantenimiento preventivo periódico, tal como engrasado y aceitado de engranes y baleros, revisión de cables eléctricos y mecanismos de fijación, revisión del desgaste de bandas, etcétera
- Al menos cada seis meses verificar los equipos de aireación si estos son superficiales o sumergibles y si es por difusión de aire (membranas), al menos una vez cada 3 años verificar los difusores y cada seis meses los sopladores (Ilustración 2.13)

Ilustración 2.12 Espesador vacío para verificar estructuras



2.7.9 SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN

2.7.9.1 Filtro banda

Inspeccionar una vez a la semana el estado de sistema de dosificación de polímero (Ilustración 2.14).

- Inspeccionar diariamente el sistema de compresión de aire
- Inspeccionar las bandas una vez a la semana para identificar desgastes, hoyos o desgarres (Ilustración 2.15)
- Mantenimiento preventivo periódico, tal como engrasado y aceitado de engranes y baleros, revisión de cables eléctricos y mecanismos de fijación, etcétera

2.7.9.2 Centrifuga

- Inspeccionar una vez a la semana el estado de sistema de dosificación de polímero



Ilustración 2.13 Sistema de aireación en el digestor



Ilustración 2.14 Sistema de dosificación del polímero



Ilustración 2.15 Verificación de la buena operación



- Mantenimiento preventivo periódico, tal como engrasado y aceitado de engranes y baleros, revisión de cables eléctricos y mecanismos de fijación, etc. (Ilustración 2.16)

2.7.10 BOMBAS

Las siguientes actividades se realizarán por lo menos cada seis meses:

- Revisión de impulsor (Ilustración 2.17).
- Revisión de empaques o sellos
- Lubricación
- Revisar y cambio de aceite dieléctrico si es necesario
- Revisar el embobinado (Ilustración 2.18)

Ilustración 2.16 Mantenimiento preventivo a centrífuga



Ilustración 2.17 Revisión del impulsor



Ilustración 2.18 Revisión del embobinado





3

PROBLEMAS COMUNES Y ACCIONES CORRECTIVAS

Todas las plantas de tratamiento presentan problemas ocasionales o continuamente; algunas veces no afectan sustancialmente al proceso, pero otras pueden pararlo parcialmente o totalmente, y algunas veces el funcionamiento de la planta es afectado en gran medida por causas puntuales o continuas.

El principal objetivo de cualquier intento de resolver problemas del proceso es **IDENTIFICAR LA CAUSA DEL PROBLEMA**. Solamente después de identificar la verdadera causa del problema se puede dar la solución óptima.

Esto parece obvio, pero es común que en las plantas de tratamiento se aplique un remedio tras otro, siendo esto llamado prueba y error, sin identificar la causa del problema.

En otras palabras, casi siempre lo que se trata de resolver es el síntoma del problema y pocas veces se tiene éxito, mientras que la causa y verdadera solución permanece sin identificar. Los síntomas pueden ser usados como pistas que lleven a la determinación de la causa del problema.

Existen muy pocas reglas que pueden utilizarse para intentar diagnosticar problemas del proceso de lodos activados. Sin embargo, los problemas que se presentan súbitamente, en general son fáciles de identificar, mientras

que los que se presentan en un tiempo largo, o que se desarrollan lentamente son difíciles de determinar.

Si se presenta algún problema en la planta, éste debe ser caracterizado, recopilando la mayor cantidad de información relativa a como se presentó. La Tabla 3.1 muestra un ejemplo de caracterización de problemas. Una vez registrado, se intentará identificar el problema basándose en literatura consultada, interpretación de datos obtenidos, experiencias en la planta, y listado de múltiples causas posibles para ir eliminándolas de acuerdo con toda la información. Una vez definida la causa o las principales causas, se implantarán las acciones correctivas que resuelvan el problema.

Descripción de los pasos para establecer una la solución a los problemas de operación.

- Anotar y describir el problema
- Caracterizar los síntomas del problema y su periodicidad
- Comparar las características del problema con posibles causas asociadas
- Si existen múltiples causas posibles asociadas al problema, realizar un listado y jerarquizarlas
- Una vez definida la causa o causas, llevar a cabo el programa de acciones para remediar el problema

A continuación se describen los principales problemas que se presentan en las diferentes operaciones unitarias de una PTAR y se darán las posibles causas que lo originan, así como las soluciones (ver Tabla 3.2).

En el Anexo G se presenta una serie de tablas por unidades de proceso que pueden ser empleadas como guías para resolver problemas típicos que se presentan en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

3.1 BOMBAS

Las bombas no arrancan debido a: fusibles fundidos, control defectuoso o motor defectuoso. Revisar y corregir las siguientes condiciones:

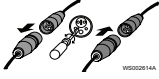
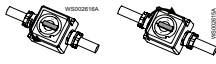
- Fusibles y su capacidad
 - Apagadores corridos, sucios o en mal estado
 - Conexiones rotas
 - Control automático
 - El motor puede tener un corto o estar quemado
- a) No sale agua por la línea de descarga, verificar que la succión no este tapada o que alguna válvula no esté cerrada.
- La bomba tiene una descarga menor a la indicada debido a:
 - Esta succionando aire
 - El impulsor está siendo frenado por basura o está dañado
- La velocidad del motor no es la adecuada
 - La descarga o la succión está demasiado lejos o alta de acuerdo a especificaciones
 - Existen válvulas parcialmente abiertas
- b) Consumos de energía altos por intervalos de tiempo pequeños pueden ser debido a:
- Taponamiento de tuberías
 - Bandas mal alineadas o colocadas
 - Velocidad de rotación del motor demasiado alta
 - Válvulas de descarga parcialmente cerradas
 - La flecha de la bomba esta doblada
 - Los elementos de rotación están demasiado ajustados
- c) El ruido en una bomba puede ser ocasionado por:
- Cavitación
 - La bomba no está completamente cebada
 - Entrada tapada
 - La bomba no ha sido lubricada adecuadamente
 - Cojinetes o impulsor gastados
 - Defectos de la bomba

Generalmente, cuando se adquiere un equipo el proveedor proporciona un manual en el que se mencionan posibles problemas de operación y causas, así como la solución, como se muestra en la Ilustración 3.1.

Ilustración 3.1 Identificación y solución de problemas de una bomba


Resolución de problemas

La bomba de tipo SMART™ no arranca

Causa	Solución
La secuencia de fases puede ser incorrecta.	<ol style="list-style-type: none"> Desenchufe el cable. Pruebe una de las siguientes opciones: <ul style="list-style-type: none"> Cambie dos fases girando dos clavijas de contacto con un destornillador. <p>NOTA: No desarme el enchufe.</p>  <p>Imagen 7: Enchufe CEE</p> <ul style="list-style-type: none"> Gire el botón en la dirección opuesta 1, con una demora de 8 segundos. <p>NOTA: No invierta la secuencia de fases con el motor en funcionamiento. En caso de hacerlo, puede producirse una rotación incorrecta, lo cual causaría daños en la electrónica del motor y en las piezas giratorias. Respete la demora de 8 segundos.</p>  <p>Imagen 8: Interruptor de encendido/apagado del variador de fase</p> <ul style="list-style-type: none"> Si no se utiliza guante o variador de fase, cambie dos conductores de fase en el armario.

Si el problema persiste, póngase en contacto con el taller de mantenimiento local de Grindex. Tenga siempre a mano el número de producto y de serie de la bomba cuando se ponga en contacto con Grindex. Consulte [Descripción del producto](#) (página 12).

La bomba no arranca



ADVERTENCIA:
Desconecte y bloquee la alimentación antes de proceder al mantenimiento para evitar que arranque automáticamente de manera repentina. Si no lo hace, puede sufrir lesiones graves o la muerte.

NOTA:
No interrumpa el guardamotor repetidamente si se ha desconectado. Si lo hace, puede dañar el equipo.


44 8101.050/.083/.160/.172 Minex Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento

Resolución de problemas

Causa	Solución
Se ha disparado una alarma en el panel de control.	<p>Compruebe si:</p> <ul style="list-style-type: none"> El impulsor gira sin problemas. Los indicadores del sensor no indican una alarma. La protección contra sobrecarga no está desactivada. <p>Si el problema persiste: Póngase en contacto con su taller de mantenimiento local de Grindex.</p>
La bomba no arranca automáticamente, pero es posible arrancarla manualmente.	<p>Compruebe si:</p> <ul style="list-style-type: none"> El regulador de nivel de arranque funciona. Limpíelo o cámbielo si es necesario. Todas las conexiones están en perfecto estado. Las bobinas del relé y del contactor están intactas. El interruptor de control (Man/Auto) hace contacto en ambas posiciones. <p>Compruebe el circuito de control y las funciones.</p>
La instalación no recibe tensión.	<p>Compruebe si:</p> <ul style="list-style-type: none"> El interruptor principal está conectado. Hay tensión de control en el equipo de arranque. Los fusibles están intactos. Hay tensión en todas las fases de la línea de suministro. Todos los fusibles tienen potencia y están asegurados a los portafusibles. La protección contra sobrecarga no está desactivada. El cable del motor no está dañado.
El impulsor está atascado.	<p>Limpie:</p> <ul style="list-style-type: none"> El impulsor El pozo para evitar que el impulsor vuelva a obstruirse.

Si el problema persiste, póngase en contacto con el taller de mantenimiento local de Grindex. Tenga siempre a mano el número de producto y de serie de la bomba cuando se ponga en contacto con Grindex. Consulte [Descripción del producto](#) (página 12).

La bomba no se detiene al utilizar un sensor de nivel



ADVERTENCIA:
Desconecte y bloquee la alimentación antes de proceder al mantenimiento para evitar que arranque automáticamente de manera repentina. Si no lo hace, puede sufrir lesiones graves o la muerte.

8101.050/.083/.160/.172 Minex Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento 45

3.2 CRIBADO

Tabla 3.1 Guía de problemas y soluciones para rejillas mecánicas

Indicadores /observaciones	Causa probable	Verificación o monitoreo	Soluciones
Olores repugnantes, moscas y otros insectos.	Acumulación de trapos y basura.	Método y frecuencia de la remoción de basura.	Incrementar la frecuencia de la remoción y disposición a un sitio aprobado.
Arena excesiva en la cámara de la rejilla.	Velocidad de flujo demasiado baja.	El fondo de arena en la cámara es irregular. Baja velocidad.	Eliminar irregularidades del fondo, o pendiente del fondo. Incrementar la velocidad de flujo en la cámara o limpiar con agua regularmente usando una manguera.
Atascamiento excesivo en la rejilla.	Cantidad inusual de basura en las aguas residuales. Verificar los desechos industriales (alimentos, otros). Frecuencia de limpieza inadecuada.	Condiciones aguas arriba. Frecuencia de la limpieza.	Usar una rejilla gruesa o identificar la fuente de los desechos causantes del problema, por lo tanto estas descargas pueden ser controladas. Incrementar la frecuencia de la limpieza.
Rastrillo mecánico saturado, el interruptor del circuito no se reiniciará.	Mecanismo atascado.	Canal de la rejilla.	Remover la obstrucción. Ajustar la tensión del cable o cadena.

Tabla 3.1 Guía de problemas y soluciones para rejillas mecánicas (continuación)

Indicadores /observaciones	Causa probable	Verificación o monitoreo	Soluciones
Rastrillo parado, pero el motor trabaja.	Catarina rota.	Revisar catarina.	Identificar la causa de la ruptura, remplace la catarina. Remplace la cadena o cable. Remplace el interruptor.
	Cadena o cable roto.	Revisar la cadena.	
	Interruptor roto.	Revisar el interruptor dañado.	
Rastrillo sin trabajar, problema no visible.	Circuito del control remoto dañado.	Remplazar circuito o motor.	Verificar los circuitos del interruptor.
Marcas o metal contra metal en la cubierta de la rejilla.	La rejilla necesita ajuste.	Rejilla a través de un ciclo, preste atención, escuche y observe el ciclo.	Ajustes recomendados por los fabricantes en el manual de O&M.

3.3 DESARENADOR

Tabla 3.2 Guía de problemas y soluciones para desarenadores

Indicadores /observaciones	Causa probable	Verificación o monitoreo	Soluciones
Exceso de arena en los colectores.	Unidad operando a velocidades excesivas.	Velocidad de entrada.	Reducir la velocidad de entrada.
Demasiada vibración en el desarenador ciclónico.	Obstrucción en el orificio inferior. Obstrucción en el orificio superior.	Flujo del orificio inferior. Demasiado flujo en la salida del orificio inferior.	Remover la obstrucción. Reducir el flujo.
Olor a huevo podrido en la cámara de arena.	Formación de sulfuros de hidrógeno.	Pruebas para depósitos de lodos, sulfuros disueltos y totales.	Lavar la cámara con hipoclorito.
Arena acumulada en la cámara.	Basura sumergida. Velocidad de flujo demasiado baja o cadena rota.	Inspeccionar la cámara en relación a la basura. Verificar el equipo.	Lavar la cámara diariamente. 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 and 41 kPa) gobernado por la velocidad de la bomba. Aceite especificado en el manual O&M. Incrementar la velocidad en la cámara de arena. (1 ft/s (0.3 m/s) que generalmente es óptimo a menos que las estrategias de operación llamadas sean velocidades bajas con lavados.)
	Inadecuada velocidad de flujo del aire.	Verificar la velocidad de flujo del aire.	
	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 por velocidad excesiva. Demasiada aireación.	Velocidad. Aireación.	Mantenga la velocidad cerca de 1ft/s (0.3 m/s). Reduzca la aireación. Incrementar el tiempo de retención usando más unidades o reduciendo el flujo de la unidad.

Tabla 3.2 Guía de problemas y soluciones para desarenadores (continuación)

Indicadores /observaciones	Causa probable	Verificación o monitoreo	Soluciones
Aumento de gasto en la cámara desarenadora.	Problema en la bomba.	Bombas.	Ajuste los controles de las bombas y controle los influentes 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.

3.4 SEDIMENTADOR PRIMARIO

- a) Si el agua de entrada es negra y con olor indica que el agua residual está sufriendo una descomposición en el alcantarillado o que se procede de una descarga fuertemente industrial. Otra posibilidad es que el sobrenadante del digestor de lodos no cuente con las características requeridas
- b) La posible solución es que se clore el agua antes de su entrada a la PTAR, que exista un control de verificación más estricto sobre las descargas de la industria y una mejor operación del digestor de lodos
- c) Flotación de lodos, indica una acumulación excesiva de lodos en el fondo de la unidad que genera condiciones anaerobias. Las causas pueden ser; la rastra se dañó, una alta carga de sólidos en el afluente, la tasa de purga de lodo es pequeña, la tubería de descarga de lodos se tapó o la bomba se dañó
Las posibles soluciones son; reparar la rastra, aumentar la purga de lodos, destapar la tubería y/o reparar el equipo de bombeo
- c) Acumulación de natas, puede ser debida a una frecuencia inadecuada de retiro, una carga alta en el agua de llegada, daño en la caja de recolección, o una desalineación del desnatador
Las posibles soluciones son: aumentar la frecuencia de retiro, reparar la caja recolectora de natas y alinear el desnatador.
- d) Baja concentración de sólidos, puede ser ocasionada por cortos circuitos, una excesiva purga de lodos o un flujo en pulsaciones (con aire)
Las posibles soluciones son; verificar el estado de las mamparas, disminuir purga de lodos, verificar equipo de bombeo.
- e) Crecimiento de algas en canales y vertedores, provocada por acumulación de lodos y natas. La posible solución es: una limpieza rutinaria
- f) Corrosión en vertedores y mamparas, puede ser debida a condiciones anaerobias en la unidad (punto 2)
Las posibles soluciones son; las que se describen en el punto 2 y limpiar y pintar partes dañadas
- g) El mecanismo de recolección de lodos presenta un esfuerzo mayor al recomendado. Esto puede ser ocasionado por una acumulación de lodos
Las posibles soluciones son; aumentar la purga de lodos, destapar la tubería y/o reparar el equipo de bombeo

3.5 TANQUE DE AIREACIÓN

- a) Si el color del lodo es negro, indica que es viejo. Aumentar la purga
- b) Si en la prueba del IVL el lodo:
 - Sedimenta rápidamente y es de color negro y el sobrenadante es turbio, indica lodos viejos. Aumentar la purga
 - Si es esponjoso o disperso y de color café claro y sedimenta lentamente, indica lodos jóvenes. Aumentar la recirculación y no purgar
- c) Presencia de espuma blanca o ligeramente café, indica falta de microorganismos en el sistema
Aumentar la recirculación y no purgar hasta alcanzar niveles de SST requeridos en el licor mezclado
- d) La concentración de oxígeno disuelto es cero mg/L, puede indicar que está llegando más carga orgánica o que la concentración de operación de SST se rebasa
Aumentar la recirculación de lodos en el primer caso y en el segundo aumentar la purga
- e) La concentración de oxígeno es mayor a 5 mg/L, esto puede indicar que la cantidad de microorganismos ha disminuido o que no hay
Aumentar la recirculación y no purgar hasta que se restablezca la concentración de operación de SST en el licor mezclado. Se observa un gran burbujeo en el tanque, la posible causa es ruptura de difusores, los que se tendrán que reparar.
Valores de pH por debajo de 6.5, indican acidificación del sistema o una alta nitrificación, las posibles causas son lodos viejos o altas concentraciones de nitrógeno amoniacal

Las soluciones son aumentar la purga de lodos y controlar la entrada

Presencia de zonas muertas, las causas pueden ser provocada por difusores fuera de operación o una baja aireación, la solución es reparar o aumentar la aireación

3.6 SEDIMENTADOR SECUNDARIO

- a) Lodo abultado flotando en la superficie (Ilustración 3.2). La causa puede ser debida a presencia de organismos filamentosos y generalmente el IVL es mayor a 150 mL/g. Para comprobar será necesario realizar un análisis microscópico
Las posibles soluciones son; incrementar el OD en el tanque de aireación, si es menor a 1 mg/L, incrementar el pH por arriba de 7 unidades, agregar nitrógeno y fósforo, agregar al lodo de retorno de 5 a 6 mg/L de cloro, hasta obtener un IVL por debajo de 150 mL/g. Como el predominio es filamentosos y éste se eliminará con el cloro, es necesario aumentar la recirculación y disminuir la purga
- b) Lodo café flotando en la superficie (Ilustración 3.3). La causa puede ser que la concentración de SST ha aumentado y los lodos no son recirculados de acuerdo al incremento o que el flujo de recirculación ha disminuido, lo que origina que el tiempo de residencia aumente, y a su vez se generen condiciones de desnitrificación en el fondo de la unidad. Estas condiciones producen nitrógeno gas, que al vencer la carga hidráulica forma burbujas que arrastran lodo hacia la superficie

Ilustración 3.2 Lodo abultado flotando



La solución es aumentar la recirculación si ésta ha disminuido o purgar si la concentración de operación de SSV se ha rebasado. También es necesario verificar que la rastra esté funcionando correctamente

- c) Lodo negro flotando en la superficie (Ilustración 3.4). La causa puede ser que la concentración de SST ha aumentado y los lodos no son recirculados de acuerdo al incremento o que el flujo de recirculación ha disminuido, lo que origina que el tiempo de residencia aumente, y a su vez se generen condiciones anaerobias en el fondo de la unidad. Estas condiciones producen gas metano y ácido sulfhídrico, que al vencer la carga hidráulica forma burbujas que arrastran lodo hacia la superficie. La solución es aumentar la recirculación si ésta ha disminuido o purgar si la concentración de operación de SST se ha rebasado. También es necesario verificar que la rastra esté funcionando correctamente
- d) Si el efluente es turbio (Ilustración 3.5), presencia de flóculos de cabeza de alfiler, las posibles causas pueden ser; lodos vie-

Ilustración 3.3 Lodo café flotando en la superficie



jos, si son negros, demasiada aireación si son cafés

En el primer caso aumentar la purga, y en el segundo disminuir la aireación

También puede presentarse por problemas de condiciones anaerobias en el reactor, por lo que se deberá incrementar la aireación. Algunas veces se da por intoxicación, lo cual puede provocar la muerte de los microorganismos, las posibles soluciones son incrementar la recirculación y eliminar la purga o inocular con lodos de otra planta.

Existe arrastre de sólidos por los vertedores, las posibles causas son que el caudal del agua ha sobrepasado el de operación, o que los vertedores están mal nivelados. Las soluciones es, volver al caudal de operación o nivelar vertedores.

3.7 LICOR MEZCLADO

Este comúnmente presenta inconvenientes operacionales que están relacionados con diferentes patologías de los flóculos (Ilustración 3.6). Como resultado se obtiene un progresivo deterioro de

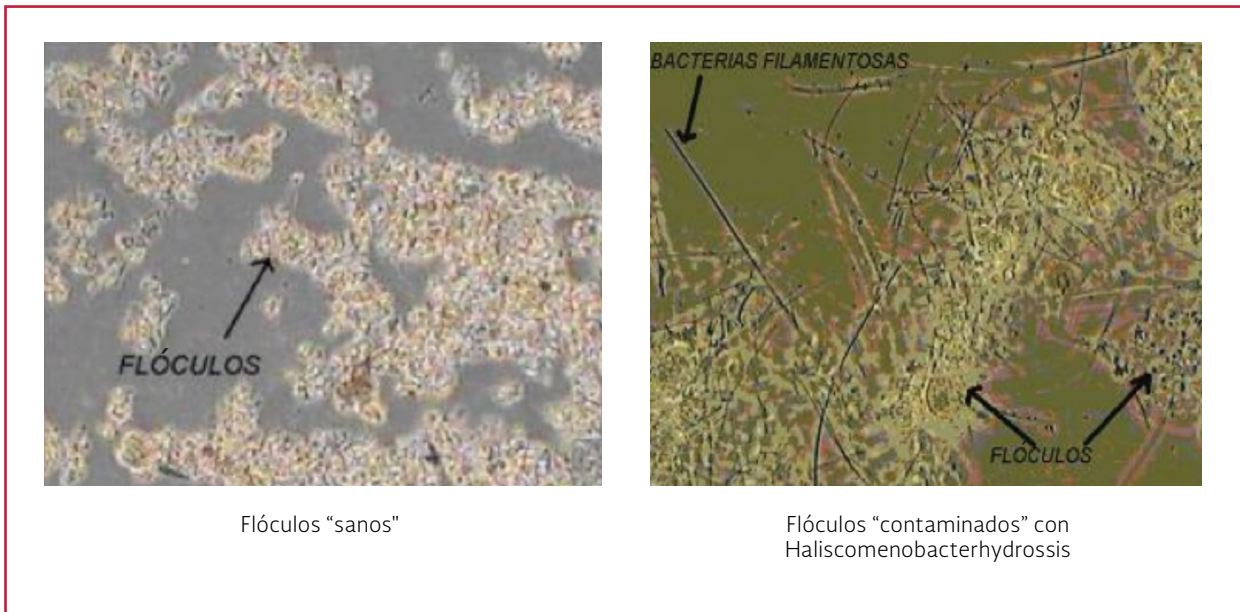
Ilustración 3.4 Lodo negro flotando en la superficie



Ilustración 3.5 Efluente turbio



Ilustración 3.6 Tipos de flóculos



Flóculos "sanos"

Flóculos "contaminados" con *Haliscomenobacterhydrophila*

la calidad del líquido de descarga, aparición de grandes cantidades de espuma sobre la superficie del reactor o el sedimentador secundario, pérdida de flóculos en el sedimentador y dificultades en el manejo del sistema a partir de los inconvenientes relacionados con la imposibilidad de

regular de forma constante el lodo de recirculación. En la Tabla 3.3 se indican los fenómenos no deseados que generalmente aparecen en el tanque de aireación o en el sedimentador secundario. Se señalan las posibles causas y cómo el problema se manifiesta a nivel microscópico.

Tabla 3.3 Patologías frecuentes en sistemas de lodos activados

Problema	Causas	Observación al microscopio
Efluente turbio, ausencia de flóculos sedimentables dispersos en el medio	Alta A/M, elevada temperatura de entrada, fase inicial del sistema, elevada DQO altamente biodegradable	Ausencia de flóculos, células dispersas en el medio líquido, no ocurre biofloculación
Pérdida permanente de pequeños flóculos con el efluente final, SVI bajo (<100 mg/L)	Excesiva turbulencia o tiempo de retención celular, elevado lodo mineralizado, baja A/M	Flóculos presentes muy pequeños, débiles, como cabeza de alfiler
Estrato de lodo espeso en la superficie del sedimentador	Surgimiento del lodo desde el fondo del sedimentador por desnitrificación, exceso de turbulencia, algas.	Flóculos ricos en burbujas de gas con o sin filamentos, espuma y barro de igual aspecto
Espuma sutil, blanquecina, inestable sobre la superficie del agua	Presencia de sustancias difícilmente biodegradables, tensoactivas	Ninguna influencia sobre las estructuras de los flóculos
Espuma espesa amarillada, estable principalmente en el tanque aerobio	Presencia de bacterias filamentosas u hongos actinomicetos. Formación de espuma	Espuma rica de Nocardia, Microthrix parvicella o Tipo 1863
Lodo de consistencia gelatinosa, IVL alto, espuma grisácea en el tanque aerobio, pérdida de flóculos con el efluente final	Aglomerado viscoso o no filamentosos, carencia de nutrientes y alto A/M	Flóculos ricos en formas Zoogléales y presencia de polisacáridos exocelulares evidenciados con la prueba de tinta china. Presencia de Thauera sp.
IVL alto o muy alto (>150 mg/L) dificultad para separar fase líquida de sólida, inicio con un efluente limpio de excelente calidad hasta la pérdida masiva de flóculos. Lodo de recirculación poco concentrado	Aglomerado filamentosos, presencia de bacterias filamentosas en exceso, las causas varían en relación al tipo de organismo presente	Flóculos con crecimiento de filamentosos desde la periferia hacia el líquido circundante, puentes entre flóculos o filamentosos creciendo en el interior y definiendo la forma de los flóculos o en tramas que dejan espacios vacíos en su estructura

Resulta evidente que la identificación de las bacterias asociadas a un problema particular es uno de los puntos claves para entender y controlar el proceso de tratamiento. Las soluciones drásticas como la cloración, deben dejarse para casos específicos en donde se justifique la pérdida de eficiencia depurativa del sistema bajo estudio.

Existen técnicas de reconocimiento de los microorganismos, desde muy sencillas, hasta la aplicación de métodos de biología molecular mediante el empleo de sondas moleculares específicas. A partir del reconocimiento de las especies bacterianas que generan un inconveniente dado, se tomarán las medidas correctivas correspondientes. Esto puede implicar la instalación de un selector aeróbico, anóxico o anaerobio, ajustes en los tiempos de retención celular del sistema y cambios en las condicio-

nes ambientales que favorezcan una selección cinética o metabólica de las bacterias formadoras de flóculos.

3.7.1 FORMACIÓN DE ESPUMA

La espuma consiste del atrapado de aire o burbujas de gas bajo la superficie de una capa delgada de sólidos o secreciones biológicas. La espuma microbiológica se produce en el tanque de aireación y de ahí es descargada a otras unidades de tratamiento, en donde el aire atrapado y las burbujas de gas se escapan y la espuma colapsa y a esta espuma colapsada es a lo que se le refiere como espuma. La espuma se forma cuando microorganismos con pared celular hidrofóbica atrapan burbujas de aire, más el material surfactante que queda atrapado en la burbuja, estabilizándose estas burbujas para formar la espuma.

Dos bacterias del género, *Nocardia* y *Microthrix parvicella*, están asociadas con la presencia de espuma en los procesos de lodos activados.

La espuma es una masa de burbujas creadas cuando ciertos tipos de gas se dispersan en un líquido y la dispersión entonces se estabiliza. Si el agua contiene ciertos componentes, solubles o insolubles, entonces las dispersiones relativamente estables pueden ser formadas. La causa principal de la formación de la espuma es la presencia de surfactante dentro del sistema, aunque las proteínas, los polisacáridos y los derivados de la celulosa pueden también causar espuma. Los surfactantes contienen (agua que rechaza) una sección hidrofóbica y (agua que atrae) una sección hidrofílica. Las moléculas del surfactante se arreglan en el interfaz del agua/del aire, formando una capa monomolecular (es decir, una película fina). Esta capa es la condición previa para la formación de una espuma estable. Bajo condiciones normales las burbujas esféricas del gas que se elevan a la superficie se disipan rápidamente. Sin embargo, si esta capa monomolecular está presente, rodea la burbuja y forma una laminilla estable de la espuma. Esta espuma estable se incrementa debido al gas que se esca-

pa y continuará propagándose a menos que se contrarreste (Ilustración 3.7).

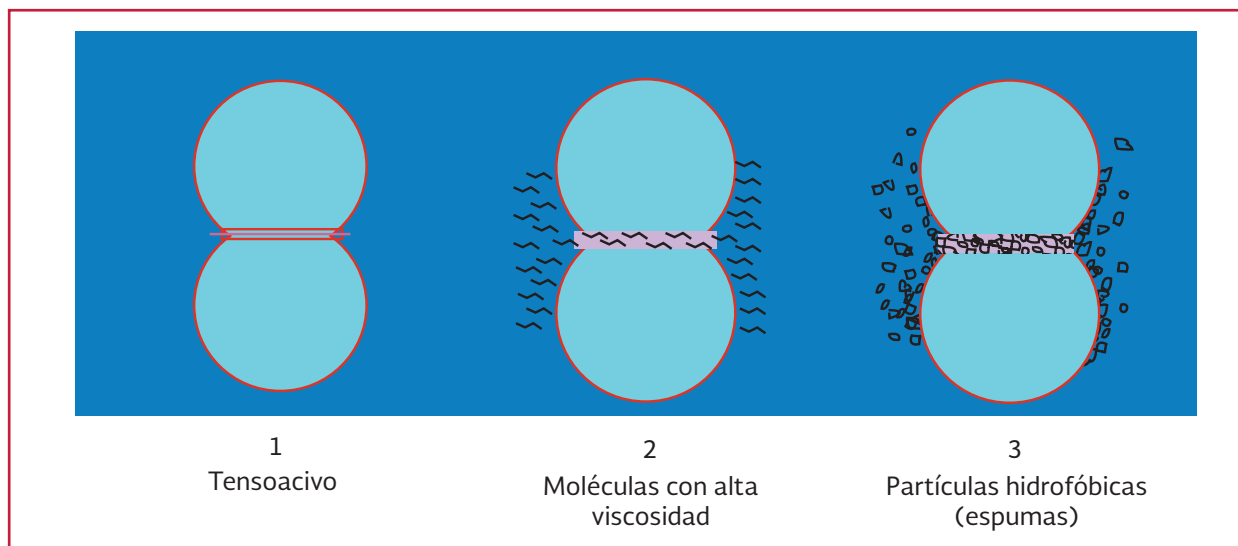
La presencia de algo de espuma en el tanque de aireación es normal en el proceso de lodos activados. Normalmente, en una planta bien operada, del 25 al 10 por ciento de la superficie del tanque de aireación se encuentra cubierta por una capa de espuma liviana de 5 a 8 cm. Bajo ciertas condiciones de operación, la espuma puede volverse excesiva y afectar las operaciones.

Generalmente se presentan tres tipos de espumas problemáticas: espumas blancas y consistentes, espumas marrones, y espumas muy oscuras o negras. Si la espuma blanca y dura crece demasiado, puede ser transportada por el viento hacia otros sectores de la planta y producir condiciones peligrosas de trabajo.

Puede también crear una apariencia desagradable y malos olores, así como acarrear microorganismos patógenos.

Si crece una espuma grasosa o espesa esta es arrastrada por el flujo hacia los clarificadores y tendera a acumularse detrás de los deflectores del afluente,

Ilustración 3.7 Diferentes caminos para la estabilización de la espuma



creando problemas adicionales de limpieza. También puede tapar el separador de espumas.

3.7.1.1 Espuma blanca

Indica un lodo joven y se encuentra normalmente tanto en plantas nuevas como en plantas sobrecargadas. Significa que la concentración de SSTLM es muy baja y la A/M es muy alta. La espuma puede consistir en detergentes o proteínas que no pueden ser convertidas en alimento por las bacterias que crecen en el licor de mezcla a altas tasas de alimento/microorganismo.

Algunas causas probables de estas espumas son:

- Lodos activados no retornados al tanque de aireación
 - Bajo SSTLM resultantes del proceso de puesta en marcha
 - Bajo SSTLM para el residuo orgánico actual, causado tanto por el excesivo desecho de lodos o alta carga orgánica del afluente
 - La presencia de condiciones desfavorables, como sustancias tóxicas o inhibidoras, condiciones anormales de pH, insuficiencia de OD, deficiencia de nutrientes, o cambios estacionales de temperatura
 - Perdida no intencional de biomasa en el clarificador secundario causado por:
 - Excesiva carga hidráulica
 - Trastornos biológicos
 - Deficiencias mecánicas del sedimentador secundario
 - Distribución inapropiada de caudales o carga de sólidos entre múltiples clarificadores
- Distribución inapropiada del líquido residual y/o el flujo de RLA entre múltiples clarificadores

Se pueden aplicar las siguientes medidas para corregir los problemas de espumas:

- Verificar que el lodo que retorna fluye hacia el tanque de aireación. Mantener tasas de retorno suficientes para mantener el manto de lodo en la parte más baja del clarificador, preferentemente entre 0.3 y 0.9 m del fondo
- Frenar el desperdicio de lodo activo por unos días para aumentar la concentración de SSTLM y TRMC
- Controlar los caudales de aire o la profundidad de los aireadores mecánicos para mantener las concentraciones de OD de 1.5 a 4 mg/L en el tanque de aireación.
- Controlar las válvulas de desagüe y cerrarlas si estuvieran abiertas por accidente
- Considerar la siembra de lodos de otra planta que esté operando correctamente
- Modificar cañerías o estructuras como sea necesario para mantener una distribución apropiada de caudales a los múltiples tanques de aireación y sedimentadores

3.7.1.2 Espumas marrones

Este tipo de espumas se asocia a plantas operando en rangos de baja carga. Las plantas diseñadas para nitrificar tendrán normalmente cantidades bajas o moderadas de espumas marrones. Las plantas con el microorganismo filamentosos *Nocardia* tendrán una espuma grasosa y marrón

oscura que será transportada sobre la superficie del sedimentador. Una espuma marrón espesa indica un lodo viejo. Algunas de las posibles causas de este problema son:

- El tanque de aireación está siendo operado a baja A/M
- Crecimiento de una alta concentración de SSTLM como resultado de un insuficiente desecho de lodos
- Reaireación de lodos

Las siguientes medidas podrán aplicarse para corregir problemas de espumas:

- Si la nitrificación no es necesaria, gradualmente incrementar la A/M y disminuir TRMC
- Si aparecen filamentosos tratar de identificar la causa

3.7.1.3 Espumas muy oscuras o negras

La presencia de espumas muy oscuras o negras indica una aireación insuficiente, que resulta en condiciones anaeróbicas, o residuos industriales como tintas o tinturas. Las siguientes medidas podrán aplicarse para corregir estas espumas:

- Incrementar la aireación
- Investigar la fuente de los residuos para determinar la presencia de tintas
- Disminuir la concentración de SSTLM

3.8 CLORACIÓN

Los problemas más comunes que generan mal funcionamiento de los procesos y que están relacionados con el uso de la pre y post oxidación, son:

a) Baja presión de cloro o una concentración baja de la solución, las causas pueden ser; el tanque está casi vacío o la tubería está tapada o la válvula está dañada o si se cuenta con evaporador, éste está dañado

Las posibles soluciones son cambiar de tanque, destapar las tuberías, cambiar las válvulas y reparar el evaporador

b) Variaciones de la concentración de la solución de cloro. Puede ser causada por un mal funcionamiento de la bomba de dosificación o por una alta acumulación de sólidos en el tanque de contacto de cloro. Si se cuenta con analizador en línea, verificar electrodos y la calibración. También, se puede deber a que los difusores se encuentran tapados, por lo que se deberá realizar una limpieza adecuada

c) La concentración de coliformes fecales no es la adecuada, las causas pueden ser una inadecuada dosificación de cloro, cortos circuitos o una alta acumulación de sólidos en el tanque de contacto

Las posibles soluciones son, aumentar la dosis de cloro, verificar difusores, agregar mamparas y limpiar el tanque de contacto de cloro

d) Presión insuficiente del gas cloro en el clorador. Velocidad de extracción mayor que la permitida. Las líneas de abastecimiento de cloro de los cilindros se encuentran muy frías o se están congelando Desarmar la tubería alimentadora de cloro en el punto donde se inició el enfriamiento

e) Ausencia de presión del gas en el clorador, cuando los cilindros llenos están conectados al sistema abastecedor de cloro. Válvula reductora de presión (VRP) atas-

cada o malograda. El medidor de presión de gas del clorador marca cero, la válvula de entrada y todas las demás e inclusive la del cilindro están abiertas

Revisar la válvula externa reductora de la presión del cloro instalada a continuación de los cilindros de cloro

Reparar la válvula reductora que se encuentra atascada, probablemente por las impurezas inherentes del gas cloro

- f) Imposibilidad de operar el clorador debido a que el rotámetro se congela y el indicador de velocidad de alimentación es errático. Cilindro defectuoso. Toda la línea de suministro de cloro situada antes del cilindro también está congelada, aunque los cilindros se encuentran casi a la temperatura del ambiente

Cerrar la válvula principal de emisión de todos los cilindros y evacuar el cloro de la tubería alimentadora hasta que el medidor de presión del clorador marque cero

- g) El clorador no suministra cloro aun cuando todo el sistema aparentemente funciona normalmente. Mayor temperatura en el ambiente en que se encuentra el cilindro que el de la sala del clorador. El medidor del cloro del clorador marca una presión normal pero el medidor del inyector de vacío indica un vacío más elevado de lo normal

Revisar si existe una obstrucción en la línea del gas cloro cerca o en el cartucho de ingreso de la válvula reductora de presión del cloro

- h) Excesivo olor a cloro en el punto de aplicación. Baja presión en el punto de aplicación
Comprobar la concentración de la solución de cloro

El aire sobre el área del difusor de cloro reacciona con la solución de amoníaco produciendo nubes de humo blanco que indican fuga de cloro molecular. Si el difusor de cloro se sitúa debajo del eyector, lo que conduce a una carga negativa en la línea de la solución

Instalar un medidor de solución de cloro a presión con un diafragma protector especial

- i) El clorador no suministra suficiente cloro para producir un residual adecuado en el punto de muestreo. Falta de mantenimiento. Muestras rutinarios en un punto, en algunas horas del día existe un residual adecuado pero en otros momentos no existe ninguno

Las piezas de control automático del clorador deberán ser reparadas por el personal del fabricante. En caso necesario, limpiar la cámara de contacto de cloro

3.9 ESPESADOR DE LODOS

- a) Mal olor o flotación de lodos de color negro pueden ser ocasionados por un incremento del tiempo de residencia (Ilustración 3.8), que genera condiciones anaerobias, debido quizás a que el bombeo o retiro de lodos es bajo, además se incrementa el colchón de lodos

El problema se puede solucionar agregando cloro o aire para eliminar el olor y aumentar la purga de lodos

- b) La concentración de lodos a la salida es baja, ésta puede ser ocasionada por una extracción alta de los mismos y que no permite que estén el tiempo suficiente para alcanzar la concentración deseada

Otra causa puede ser un corto circuito ocasionada por una mala nivelación de los vertedores

- c) Una sobrecarga en el torque (fuerza de arrastre) debida a una excesiva acumulación de lodos o a un objeto muy pesado que está atorando la rastra

La solución puede ser agregando agua a chorro o agitando el lodo con una varilla para retirar los objetos mediante la utili-

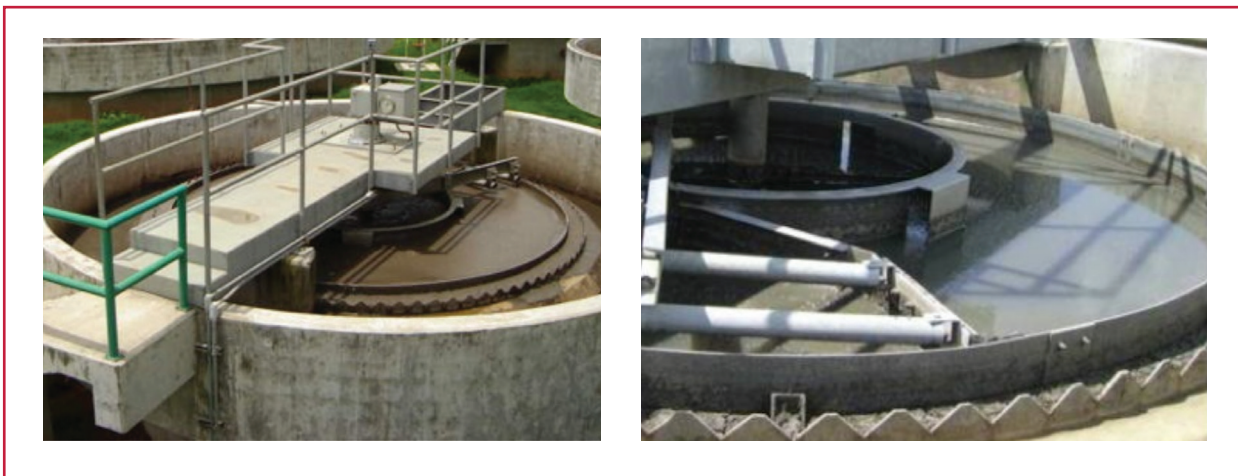
zación de un garfio o vaciando la unidad

- d) Flujo de lodos a intervalos debido a un sobre espesamiento de lodos

La solución es introducir agua a chorro en las líneas y abrir en su totalidad las válvulas

- e) Crecimiento de plantas en canales y vertedores debido a la acumulación de lodos. Limpiar diariamente con cepillo y agua a presión

Ilustración 3.8 Comparación de lodos espesados



3.10 EJEMPLOS

3.10.1 TRES REACTORES DIFERENTES

Una PTAR cuenta con tres módulos, de los cuales se tomó una muestra para realizar la prueba de sedimentabilidad. Tomando como referente la Ilustración 3.9:

- ¿Cuál tiene más sólidos suspendidos totales?
- ¿Cuál se tiene que purgar?
- ¿Existen problemas operacionales?

Respuesta: A simple vista se puede observar que el R1 y R3 tienen lodos esponjosos y el R2

muestra lodos mejor formados, es probable que los tres tengan la misma cantidad de SST, para poder estar seguros será necesario realizar un análisis de laboratorio. En la Ilustración 3.10 se muestra el resultado.

Con el resultado de los SST, y si es un sistema convencional en el que los SSTLM deben estar alrededor de los 2500 mg/L, se puede establecer que ningún módulo requiere de una purga de lodos.

Ahora bien en el R1 y en el R3 es necesario que se aumente la recirculación de los lodos para favorecer el crecimiento del flóculo, y así obtener una mejor sedimentabilidad del mismo.

Ilustración 3.9 Prueba de sedimentabilidad de tres reactores biológicos

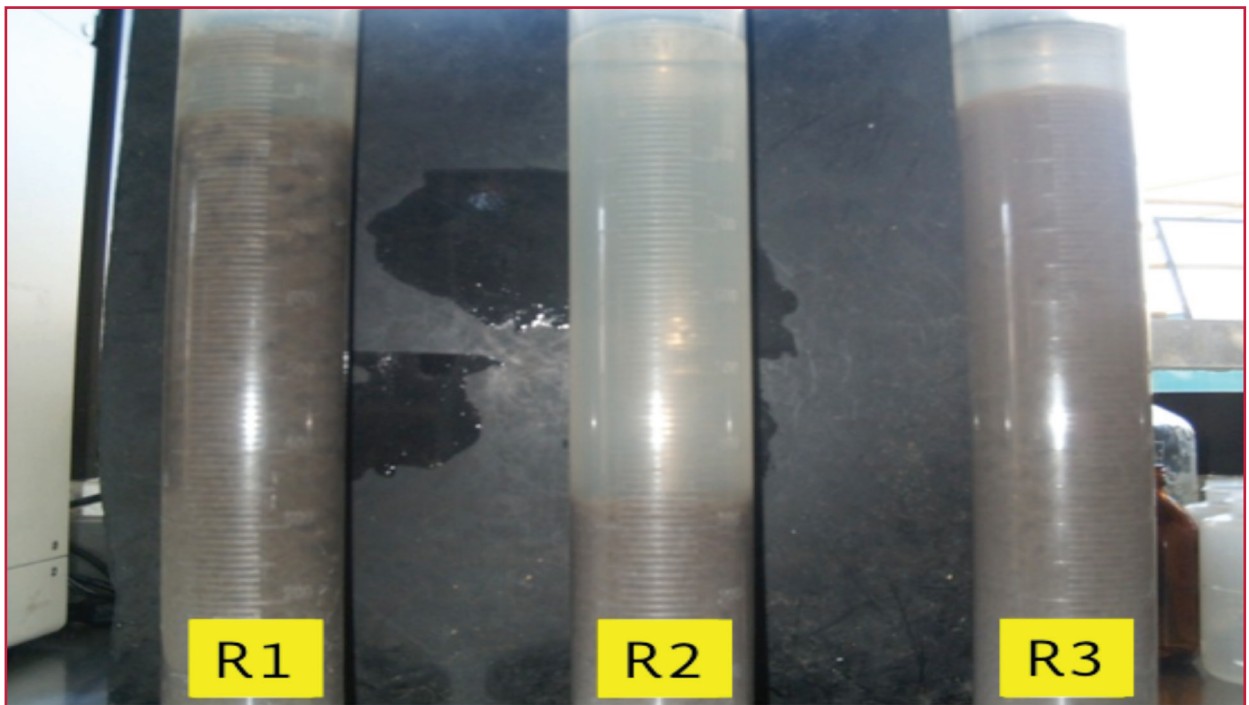
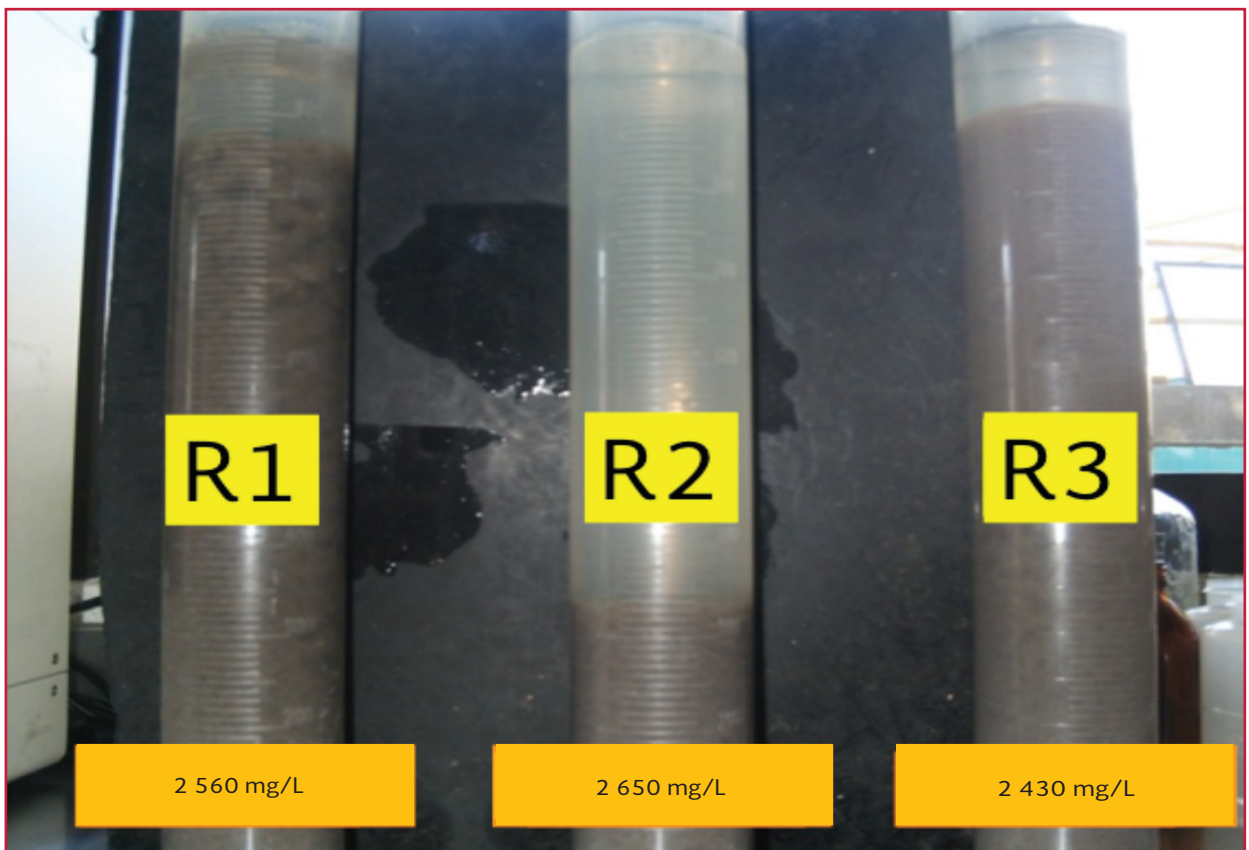


Ilustración 3.10 Concentración de SST en los tres reactores biológicos



3.10.2 DEMASIADAS NATAS EN SEDIMENTADOR SECUNDARIO

En la Ilustración 3.11 se muestra un secuencia de fotografías que muestran como la superficie del sedimentador secundario muestra una gran cantidad de natas y como éstas son recolectadas y enviadas a un registro.

Esto muestra un típico exceso de grasas y aceites presentes en el afluente, la concentración de entrada de este parámetro puede estar excediendo los 150 mg/L, ya que cuando se supera esta cantidad los microorganismos no tienen la capacidad de degradar esta sustancia. Además

las grasas aglutinan a los microorganismos y los flotan, sacándolos del sistema.

Lo recomendable es colocar una trampa de grasas y aceites como pretratamiento o identificar la fuente de la contaminación y establecer en ese sitio el pretratamiento. Esto último, permite construir una unidad mucho más pequeña.

3.10.3 GRUMOS PEQUEÑOS DE LODO

En la Ilustración 3.12 se puede apreciar que en la superficie del sedimentador secundario existe la presencia de pequeños grumos de lodos de color café claro. Como se puede observar en la

Ilustración 3.11 Presencia de natas en sedimentador secundario



Ilustración 3.12 Grupos de lodos presentes en la superficie del sedimentador secundario



Ilustración 3.13, el origen de este problema se debe a que en un inicio el piso del sedimentador secundario no fue bien nivelado y cuenta con chipotes de concreto. Esto ocasiona que cuando la rastra pasa por éstos se forcé y cuando se libera bota lodos hacia la superficie. Esto hace necesario que se eliminen los bordes de manera manual y renivelar el piso del sedimentador secundario.

3.10.4 GRUMOS DE LODOS SALEN POR VERTEDORES

En un sedimentador secundario salen en el sobrenadante grumos grandes de lodos cafés (Ilustración 3.14).

Esto se debe a que se cuenta con un proceso que elimina nitrógeno, por lo que el sistema cuen-

Ilustración 3.13 Superficie del sedimentador secundario mal nivelado



Ilustración 3.14 Grumos grandes presentes en la superficie del sedimentador secundario



ta con microorganismos desnitrificantes que al permanecer demasiado tiempo en esta unidad empiezan a desnitrificar, formando burbujas de nitrógeno que en algún momento superan la carga hidráulica y ascienden arrastrando grumos de lodos hacia la superficie. Para evitar esta condición se requiere que se aumente la recirculación de lodos.

3.10.5 DEMASIADA ESPUMA EN EL REACTOR

En algunas ocasiones en la superficie de los reactores biológicos existe presencia de espuma color café, como se muestra en la Ilustración 3.15, esta condición es típica de un arranque, la cual puede ser aún más extrema si no se utilizó un inoculo.

Si la espuma persiste por más de un mes, uno de los factores que se deberán tomar en cuenta es la temperatura del agua, ya que si está por debajo de los 15 o por arriba de los 35°C, no se están dando las condiciones para el desarrollo de los microorganismos.

Si lo anterior no procede, será necesario efectuar un análisis de calidad de agua de entrada y con esta información realizar un balance de masa para establecer un programa de control de la relación alimento/microorganismos, y de la recirculación de lodos, de tal manera que se favorezca el desarrollo y formación de flóculos en el sistema.

3.10.6 DEMASIADA TURBULENCIA EN EL REACTOR

Como se muestra en la Ilustración 3.16, en ciertos casos los sistemas de aireación no son uniformes en los reactores biológicos y esto genera corrientes o turbulencias excesivas dentro de estas unidades. En esta se aprecia que es un reactor de forma circular con una turbulencia en exceso en la parte central y en las orillas acumulación de espuma color café.

En este caso en particular (Ilustración 3.17), el sistema de aireación es de tipo Jet bidireccional. Este es alimentado de aire mediante un soplador

Ilustración 3.15 Presencia de espumas café en el tanque de aireación



Ilustración 3.16 Turbulencia excesiva en el tanque de aireación



Ilustración 3.17 Sistema de aireación en tanque de aireación



dor, el cual es mezclado con el licor mezclado que es extraído mediante una bomba del mismo tanque de aireación. Esta mezcla sale en forma de chorro y se difunde a través del reactor proporcionando el oxígeno necesario y manteniendo mezclado el sistema.

Lo que se aprecia en la Ilustración 3.16 es debido a que algunos jet's de sistema de aireación han sufrido un desgaste excesivo y se han roto, lo que ha originado que por estos salga la mayor

cantidad de aire que ocasiona la turbulencia y una mala distribución de oxígeno en el sistema. Adicionalmente, la turbulencia en esta zona evita que los flocúlos se constituyan adecuadamente, y es por eso que se aprecia una espuma café en la superficie del reactor.

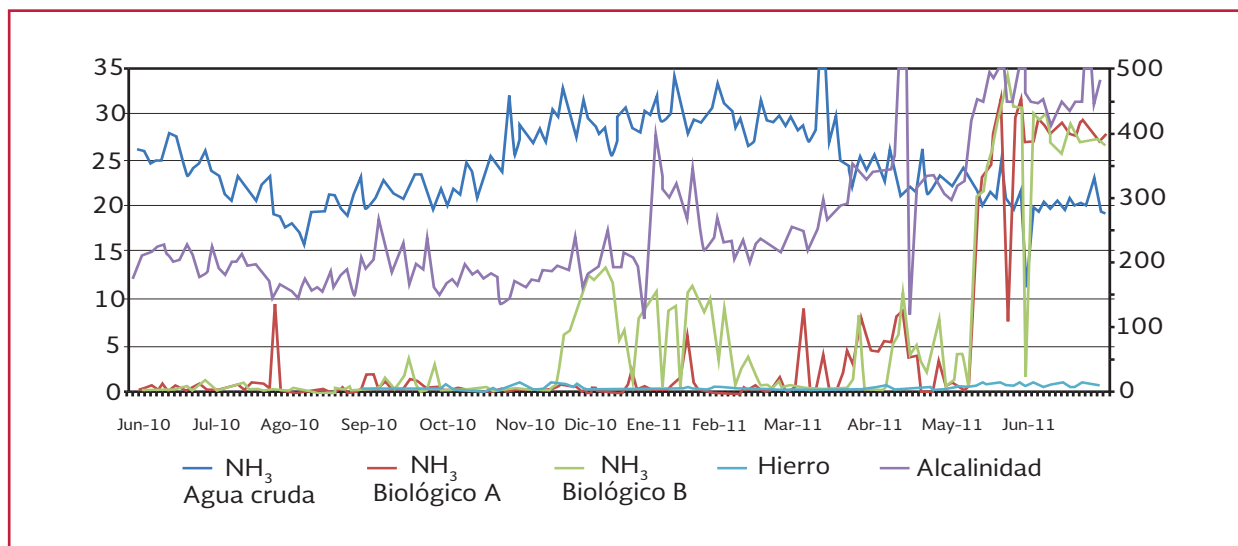
3.10.7 PROBLEMAS DE CALIDAD DEL AGUA TRATADA

En la mayoría de los casos es muy importante realizar análisis periódicamente, pero aún más graficarlos e interpretarlos. Esto proporciona información de tendencias que pueden ser útiles para establecer prácticas de operación o detectar a tiempo, posible problemas de operación.

En la Ilustración 3.18 se muestra un ejemplo del monitoreo del amoníaco entrada y la salida que producen dos reactores biológicos, además de la alcalinidad y el hierro.

El sistema monitoreado es de lodos activados en una modalidad de operación en lotes (SBR), por lo que elimina nitrógeno, por lo que el sistema debe realizar una excelente nitrificación, esto

Ilustración 3.18 Tendencia de calidad el agua



quiere decir que la concentración de nitrógeno amoniacal deber ser menor a 1 mg/L en el efluente.

Tomando como base lo anterior, se aprecia que la PTAR presentó problemas de nitrificación en los meses de septiembre y octubre, posteriormente el reactor “B” se desestabilizó partir del mes diciembre y en marzo del siguiente año el reactor “A”.

En relación a la alcalinidad existe una tendencia de aumento a partir del mes de enero, de tal manera que se ha duplicado la concentración en medio año. EL hierro también ha sufrido un ligero aumento que inició en el mes de mayo.

Estos datos sugieren que la calidad del agua cruda ha cambiado y sigue cambiando, sin embargo, lo más relevante es que el proceso de nitrificación no se realiza adecuadamente actualmente. Este problema tiene sus orígenes desde el mes de septiembre y se agudizan en el mes de diciembre. Fecha en la cual de debió tomar alguna acción correctiva, pero no ha sido así.

El hecho de que no se realice la nitrificación es por falta de oxígeno; una opción es que la calidad del agua está cambiando, por lo tanto se puede suponer que se ha incrementado la carga orgánica, lo que demanda más oxígeno, limitando así la nitrificación. Una segunda opción es que el sistema de aireación este dañado y no proporcione el suficiente oxígeno para que se realice la nitrificación.

3.10.8 FLOTACIÓN DE LODOS NEGROS EN SEDIMENTADOR SECUNDARIO

En la Ilustración 3.19 se muestra un sedimentador secundario que tiene su superficie cubierta por lodos negros. En este caso es un lodo séptico que ha permanecido mucho tiempo en el fondo. Además, se puede apreciar que el desnatador no opera, lo que sugiere que tampoco la rastra de lodos, porque lo que el tiempo de residencia de los lodos es extremadamente largo, de tal manera que se han propiciado condiciones anaerobias en el fondo del sedimentador secundario.

En este caso será necesario, en una primera opción revisar el mecanismo electromecánico de la unidad y posteriormente vaciar la unidad para verificar el estado que guardan las rastras, así como su nivelación. Posteriormente, habilitar el desnatador y de ser necesario las rastras.

3.10.9 FLOTACIÓN DE LODOS CAFÉS EN EL REACTOR Y EN EL SEDIMENTADOR SECUNDARIO

Uno de los problemas que se puede observar con mas frecuencia en una PTAR de lodos activados en la que se tratan aguas residuales industriales es la flotación de lodos (abultamiento), y en la Ilustración 3.20 se muestra un caso de este tipo.

Generalmente, los lodos están constituidos por microorganismos filamentosos. La proliferación o crecimiento de estos microorganismos

Ilustración 3.19 Flotación de lodos negros en sedimentador secundario



Ilustración 3.20 Flotación de lodos café en reactor biológico y sedimentador secundario



puede ser causado por una deficiencia de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, baja relación alimento/microorganismos, pH menor a 6 unidades y baja concentración de oxígeno disuelto.

Para eliminar los microorganismos filamentosos, lo más común es adicionar cloro líquido, si el problema no es muy agudo la dosis a emplear es de 2 a 3 kg Cl por mil kg SST, pero si lo es, aplicar 5 a 6 kg Cl por mil kg de sólidos suspendidos totales.

Se realizaran al menos tres aplicaciones por día, con esto, en la mayoría de los casos es suficiente. La adición se puede efectuar en la corriente de recirculación de lodos o directamente en el tanque de aireación.

En la PTAR en cuestión el problema de abultamiento se presentó por un descenso del pH del agua residual, al ser éste de alrededor de 5 unidades, con una ligera deficiencia de nutrientes, por malos cálculos efectuados.

La solución más recurrente es adicionar polímero para facilitar la sedimentación de los lodos, sin embargo, no se elimina el problema pero si incrementa los costos del tratamiento.

Una primera acción es ajustar el pH del agua residual de entrada o identificar la fuente que lo origina y realizar un pretratamiento en el sitio, de no ser posible separar la corriente, y plantear un tratamiento alterno. En este caso se ajustó el pH con sosa a 6 unidades.

Una segunda acción es adicionar cloro para eliminar el abultamiento, la dosis empleada fue de 6 kg Cl por 1 000 kg SST, ya que como se puede observar en la Ilustración 3.20 el problema es grave.

A continuación se muestran los cálculos efectuados. El volumen del reactor es de 1 250 m³, con una concentración de SST de 3 360 mg/L (3.36 kg/m³), entonces la masa de sólidos es de:

$$\begin{aligned} SST (kg) &= 1\,250\,m^3 (3.36\,kg/m^3) \\ &= 4\,200\,kg\,SST \end{aligned}$$

La cantidad de cloro es de:

$$\begin{aligned} Cl (kg) &= 4\,200\,kg\,SST (6\,kg\,Cl) / 1\,000\,kg\,SST \\ &= 25.2\,kg\,Cl \end{aligned}$$

Se empleó hipoclorito de sodio al 13 por ciento (0.13 kg Cl/L), por lo que se adicionaron:

$$\begin{aligned} NaClO (L) &= 25.2\,kg\,Cl (1\,L) / 0.13\,kg\,Cl/L \\ &= 193.54\,L \end{aligned}$$

La aplicación fue en el tanque de aireación y se realizaron tres aplicaciones.

Al tercer día el tanque de aireación presentó una notable mejoría como se puede observar en la Ilustración 3.21.

Ilustración 3.21 Tanque de aireación después del tratamiento





4

ARRANQUE Y ESTABILIZACIÓN DEL PROCESO

El arranque de cualquier proceso biológico, entre ellos el de lodos activados, se lleva tiempo y deben tenerse ciertos cuidados para lograr su estabilización, así como un buen funcionamiento del proceso.

Un arranque típico se compone de dos fases: arranque mecánico y arranque del proceso. El proceso de lodos activados consiste en un tanque de aireación y un clarificador, y sus principales funciones son:

- Remoción de materia orgánica disuelta de aguas residuales, convirtiendo esta materia en forma insoluble (material celular).
- Separación de la materia insoluble del licor mezclado, para obtener un efluente claro.
- Recirculación inmediata del material celular sedimentado al tanque de aireación.

Se puede decir técnicamente que el proceso de tratamiento por lodos activados se ha estabilizado cuando las concentraciones de los parámetros monitoreados, tales como DBO, DQO, SST, NT, PT, G y A, coliformes fecales entre otros en el agua residual tratada, sea igual o menor a la

calidad del agua establecida en los lineamientos de diseño.

4.1 PREPARACIÓN PREVIA AL ARRANQUE

Para tener éxito en el arranque de la planta, se requiere una planeación cuidadosa. El proceso de lodos activados es demasiado complicado para que se realice por una sola persona. Además, los factores ambientales que afectan al proceso son muchos como para iniciar el arranque sin preparación previa.

Las actividades requeridas antes de arrancar son: análisis del agua residual, revisión del equipo electromecánico y revisión hidráulica de los tanques.

4.1.1 ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL

Esta actividad es realmente importante, debido a que la PTAR de lodos activados ha sido diseñada bajo ciertos criterios o parámetros de calidad de agua residual, por lo que si el agua que se va a tratar está muy por arriba o por debajo de los concentraciones propuestas, se tendrá dificultad en el arranque y por tanto en la estabilización del proceso, lo que no permitirá alcanzar la calidad

de agua residual tratada estipulada en el proyecto. A continuación en la Tabla 4.1 proporciona los parámetros principales a tomar en consideración. Esta tabla puede ser empleada como un formato guía. Todos los formatos pueden ser consultados en el Anexo F.

4.1.2 REVISIÓN DEL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO

Como primera etapa de esta actividad se realiza un listado de todos los equipos electromecánicos por unidad de proceso y posteriormente se hará una prueba de arranque y paro, en la cual también se verificará el giro de motores y si es posible amperaje, esto con la finalidad de que no esté obstruido o pegado el motor. Para tal efecto se empleará el formato que se muestra en la Tabla 4.2.

Tabla 4.1 Calidad del agua residual y tratada

Parámetro	Diseño		Real	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Q = Gasto (L/s)				
DBO = Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)				
DQO = Demanda química de oxígeno (mg/L)				
SST = Sólidos suspendidos totales (mg/L)				
SSV = Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)				
SSVLM = SSV en el licor mezclado (mg/L)				
SSVr = SSV en la recirculación (mg/L)				
NH ₃ = Nitrógeno amoniacal (mg/L)				
NO ₃ ⁻ = Nitrógeno de nitratos (mg/L)				
NT = Nitrógeno Total (mg/L)				
PT = Fósforo total (mg/L)				
T = Temperatura (°C)				
pH = Potencial Hidrógeno				
A/M = Relación alimento/microorganismos				
Grasas y aceites (mg/L)				

4.1.3 REVISIÓN HIDRÁULICA DE LOS TANQUES

Una vez concluida la revisión de equipos y de fallas que se hayan presentado se procederá a realizar el llenado de las unidades para verificar que no existan fugas o grietas en las paredes. De ser posible y si las unidades son pequeñas emplear agua potable o residual tratada. Esta será transferida de tanque en tanque. Tomar en cuenta que se requerirá de una o varias bombas sumergibles para agilizar la actividad. Si se emplea agua residual cruda tomar en cuenta que si algún tanque presenta fugas, será necesario el empleo de una o varias bombas para desalojar toda el agua del tanque para su reparación y de las unidades que se han llenado previamente para evitar condiciones sépticas y que se generen malos olores.

Tabla 4.2 Lista y verificación de equipos por unidad de proceso

Tanque de regulación u homogenización					
Equipo	Clave	Amper	Arranca		Si es "No" identificar posible cusa
			Sí	No	
Sedimentador primario					
Equipo	Clave	Amper	Arranca		Si es "No" identificar posible cusa
			Sí	No	
Tanque de aireación					
Equipo	Clave	Amper	Arranca		Si es "No" identificar posible cusa
			Sí	No	
Sedimentador secundario					
Equipo	Clave	Amper	Arranca		Si es "No" identificar posible cusa
			Sí	No	
Desinfección					
Equipo	Clave	Amper	Arranca		Si es "No" identificar posible cusa
			Sí	No	
Caja o tanque de lodos					
Equipo	Clave	Amper	Arranca		Si es "No" identificar posible cusa
			Sí	No	
Deshidratación de lodos					
Equipo	Clave	Amper	Arranca		Si es "No" identificar posible cusa
			Sí	No	

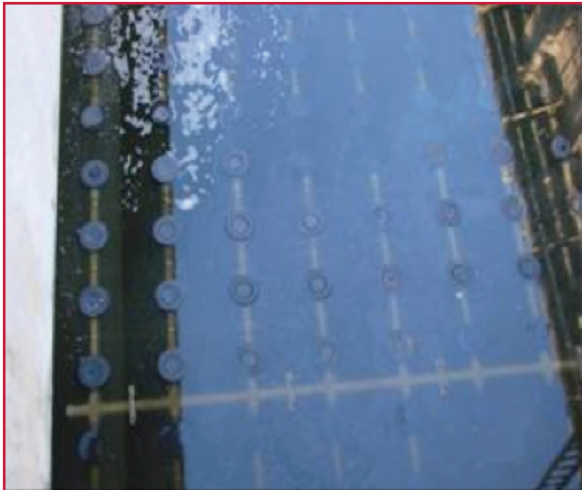
Es conveniente antes de realizar esta actividad contar con diagramas esquemáticos de cada una de las unidades de proceso, para señalar o marcar y describir en éstos las fallas que se consideren pertinentes.

Prueba de difusores

- Agregar agua de primer uso al tanque de aireación a un nivel por debajo del difusor
- Encender el sistema de aireación, para verificar que no existan fugas en las conexiones, si se presentan repararlas

- Agregar agua hasta alcanzar un nivel 10 cm por arriba del difusor (Ilustración 4.1). Encender el sistema de aireación, y verificar que no existan fugas en los difusores, si se presentan repararlas (Ilustración 4.2)

Ilustración 4.1 Llenado con agua



- Si no existen fugas, elevar el nivel del agua hasta la mitad del tanque
- Verificar que no existan fugas, si se presentan repararlas
- Si no existen fugas, llenar en su totalidad con agua residual

Ilustración 4.2 Sistema de aireación



4.2 ARRANQUE

Es muy importante tomar en consideración lo siguiente:

No arrancar si faltan equipos y detalles de construcción

El arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lodos activados se puede realizar bajo dos escenarios, con y sin inóculo, siendo considerado éste último como una situación difícil.

Por lo anterior, se realiza a continuación una descripción detallada de cada uno de los arranques de PTAR, considerando posibles contingencias, programa y/o calendario de actividades, materiales y equipos necesarios.

Es importante aclarar que esta metodología es para sistemas de aireación por difusores de burbuja

4.2.1 ARRANQUE SIN INÓCULO

Una vez que se han cubierto las actividades previas al arranque, y suponiendo que todos los equipos mecánicos han sido probados y ajustados y que todos los tanques, sedimentador secundario y tuberías estén limpios, y que están parcialmente llenos con el agua de las pruebas, los pasos a seguir son:

Primer día

- Introducir agua residual al tanque de aireación hasta la mitad de su capacidad (Ilustración 4.3) y arrancar la unidad de aireación. Al no existir microorganismos en el sistema, éstos comenzarán a formarse por lo que se generará una gran cantidad de espuma, es por esto que se recomienda llenar solo la mitad

Ilustración 4.3 Llenado hasta la mitad



- Si se considera que la espuma puede salir del tanque, ésta deberá ser contenida mediante una cortina de agua (Ilustración 4.4)
- Mantener aerando por lo menos 24 horas
- Mantener una concentración de oxígeno disuelto de 2 ± 0.5 mg/L, monitorear de ser posible cada hora

Ilustración 4.5 Tanque a un 75 por ciento del volumen



Segundo día

- Introducir agua hasta un 75 por ciento del volumen del tanque y mantener ae-

rando por lo menos otras 24 horas Monitorear la formación de la espuma y contener su desarrollo (Ilustración 4.5).

- Mantener una concentración de oxígeno disuelto de 2 ± 0.5 mg/L, monitorear de ser posible cada hora

Ilustración 4.4 Cortina de agua



Tercer día

- Llenar totalmente con agua residual el tanque y mantener aerando por lo menos otras 24 horas (Ilustración 4.6)
- Monitorear la formación de la espuma y contener su desarrollo

Ilustración 4.6 Tanque lleno



- Mantener una concentración de oxígeno disuelto de 2 ± 0.5 mg/L, monitorear de ser posible cada hora

Cuarto a décimo día

- Iniciar con un flujo continuo de agua residual, tomando en consideración un gasto del 25 por ciento
- Monitorear la formación de la espuma y contener su desarrollo
- Mantener una concentración de oxígeno disuelto de 2 ± 0.5 mg/L, monitorear de ser posible cada hora
- Iniciar operación en el sedimentador con recirculación del 100 por ciento.
- Al cumplirse 24 horas de operación, analizar SSTLM y SSVLM para poder estimar el desarrollo de la biomasa en el tanque de aireación. Además, se tomaran muestras del agua residual cruda y tratada para determinar la DBO o en su defecto DQO y SST o en su defecto turbiedad, con la finalidad de poder establecer la eficiencia

del proceso alcanzada hasta el momento. Iniciar el registro de la información en el formato que se muestra en la Tabla 4.3

Del día 11 al 15

- Continuar con un flujo continuo de agua residual y aumentar el gasto al 50 por ciento
- Graficar los datos obtenidos hasta el momento y analizar la información con la finalidad de poder establecer la eficiencia del proceso alcanzada hasta el momento
- Calcular recirculación y purga de lodos (Referirse a taller de cálculos) con la información anterior y realizar los ajustes necesarios
- Continuar con recirculación del lodo al 100 por ciento
- Monitorear la formación de la espuma y contener su desarrollo
- Mantener una concentración de oxígeno disuelto de 2 ± 0.5 mg/L, monitorear de ser posible cada hora

Tabla 4.3 Registro de parámetros de control de arranque (mg/L)

Parámetro Día	SSTLM	SSVLM	Entrada				Salida			
			DBO	DQO	SST	pH	DBO	DQO	SST	pH
1										
2										
3										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										

- Analizar SSTLM y SSVLM para poder estimar el desarrollo de la biomasa en el tanque de aireación. Además, se tomaran muestras del agua residual cruda y tratada para determinar la DBO o DQO y SST o en su defecto turbiedad, con la finalidad de poder establecer la eficiencia del proceso alcanzada hasta el momento
- Continuar con el registro de la información en el formato que se muestra en la Tabla 4.3
- Iniciar con pruebas de sedimentabilidad y tomar registros cada 5 min por espacio de 30 min y graficar (volumen de lodo vs. tiempo). Establecer un horario fijo, uno por la mañana y otro por la tarde

$$IVL = (mL \text{ de lodo}/L) / (g \text{ de SST}/L) \\ = mL \text{ de lodo}/g \text{ de SST}$$

Utilizar el formato que se muestra en la Tabla 4.4 y determinar el índice volumétrico de lodos (IVL)

Del día 16 al 20

- Continuar con un flujo continuo de agua residual y aumentar el gasto al 75 por ciento
- Continuar graficando los datos obtenidos hasta el momento y analizar la información con la finalidad de poder establecer la eficiencia del proceso alcanzada hasta el momento
- Calcular recirculación y purga de lodos, con la información anterior y realizar los ajustes necesarios
- Monitorear la formación de la espuma y contener su desarrollo
- Mantener una concentración de oxígeno disuelto de 2 ± 0.5 mg/L, monitorear de ser posible cada hora

- Analizar SSTLM y SSVLM para poder estimar el desarrollo de la biomasa en el tanque de aireación. Además, se tomaran muestras del agua residual cruda y tratada para determinar la DBO o DQO y SST o en su defecto turbiedad, con la finalidad de poder establecer la eficiencia del proceso alcanzada hasta el momento
- Continuar con registro de la información en el formato que se muestra en la Tabla 4.3
- Continuar con pruebas de sedimentabilidad y registrar los resultados en el formato que se muestra en la Tabla 4.4

Día 20 al día 30

- Continuar con un flujo continuo de agua residual y aumentar el gasto al 100 por ciento
- Continuar graficando los datos obtenidos hasta el momento y analizar la información con la finalidad de poder establecer la eficiencia del proceso alcanzada hasta el momento
- Calcular recirculación y purga de lodos, con la información anterior y realizar los ajustes necesarios
- Monitorear la formación de la espuma y contener su desarrollo
- Mantener una concentración de oxígeno disuelto de 2 ± 0.5 mg/L, monitorear de ser posible cada hora
- Analizar SSTLM y SSVLM para poder estimar el desarrollo de la biomasa en el tanque de aireación. Además, se tomaran muestras del agua residual cruda y tratada para determinar la DBO o DQO y SST o en su defecto turbiedad, con la finalidad de poder establecer la eficiencia del proceso alcanzada hasta el momento

Tabla 4.4 Registro de prueba de sedimentabilidad e IVL

Día	Hora	SST (mg/L)	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min	IVL (mL/g)
			Volumen de lodo (mL/L)						
1									
2									
3									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

- Continuar con registro de la información en los formatos que se muestran en la Tabla 4.3 y en la Tabla 4.4

- La masa requerida es de:

$$3.5 \text{ kg} / \text{m}^3 (4\ 354 \text{ m}^3) = 15\ 239 \text{ kg}$$

4.2.2 ARRANQUE CON INÓCULO

- El volumen de inóculo es de:

4.2.2.1 Cálculo de requerimiento de inóculo

$$15\ 239 \text{ kg} / (8.76 \text{ kg} \text{ m}^3) = 1\ 739.61 \text{ m}^3$$

- a) Si el inóculo proviene de recirculación:
 Se toma como base la cantidad de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado que tendrá el tanque de aireación y el volumen del mismo. Por ejemplo; 3 500 mg/L (3.5 kg/m³) y 4 354 m³
 Además, se requiere que el inóculo provenga de la recirculación, ya que éste está más concentrado, la concentración para el ejercicio es de 8 760 mg/Litro. Así, el requerimiento es de:

- Esta sería la cantidad necesaria, pero como es demasiado grande se recomienda que se inocule con el 10 por ciento, esto sería de 173.96 metros cúbicos. En la práctica como mínimo se recomienda no menos del 5 por ciento

- b) Si el inóculo proviene de la caja de salida de los reactores biológicos.
 Para el ejercicio se considera una concentración de 3240 mg/L (3.24 kg/m³).

Así, el requerimiento es.

- La masa requerida resulta:

$$3.5 \text{ kg/m}^3(4\ 354 \text{ m}^3)= 15\ 239 \text{ kg}$$

- El volumen de inóculo es de:

$$15\ 239 \text{ kg}/(3.24 \text{ kg/m}^3)= 4\ 703 \text{ m}^3$$

Esta sería la cantidad necesaria, pero como es demasiado grande se recomienda que al menos se inocule con el 5 por ciento como mínimo, esto sería de 155.22 m³ El inóculo será agregado en la caja de llegada de agua residual y para facilitar la estabilización del sistema, es conveniente se agregue el inóculo durante los primeros cinco días de arranque Para poder llevar un registro del volumen de inóculo que se está agregando al tanque de aireación se recomienda el uso del formato que se muestra en la Tabla 4.5

4.2.2.2 Operación

Primer a quinto día

- Una vez lleno el tanque de aireación con agua residual y el sistema de aireación operando, agregar el inóculo, según sea el origen del mismo

- Iniciar con un gasto de entrada al 25 por ciento
- Iniciar operación en el sedimentador con recirculación del cien por ciento
- Monitorear la formación de la espuma y contener su desarrollo
- Mantener una concentración de oxígeno disuelto de 2 ± 0.5 mg/L, monitorear de ser posible cada hora
- Al cumplirse 24 horas de operación, analizar sólidos suspendidos totales y volátiles en el licor mezclado (SSTLM y SSVLM) para poder estimar el desarrollo de la biomasa en el tanque de aireación. Además, se tomaran muestras del agua residual cruda y tratada para determinar la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) o en su defecto demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST) o turbiedad, con la finalidad de poder establecer la eficiencia del proceso alcanzada hasta el momento. Iniciar el registro de la información en el formato que se muestra en la Tabla 4.3
- Iniciar con pruebas de sedimentabilidad y tomar registros cada 5 min por espacio de 30 min y graficar (volumen de lodo vs. tiempo). Establecer un horario fijo, uno por la mañana y otro por la tarde

Tabla 4.5 Volúmenes del inóculo

Módulo 1										
Día										
Volumen (m ³)										
SST (mg/L)										
Módulo 2										
Día										
Volumen (m ³)										
SST (mg/L)										

- Utilizar el formato que se muestra en la Tabla 4.4
- y determinar el índice volumétrico de lodos (IVL)

$$IVL = (mL \text{ de lodo}/L) / (g \text{ de SST}/L) \\ = mL \text{ de lodo}/g \text{ de SST}$$

Sexto a décimo día

- Aumentar el gasto de entrada al 50 por ciento
- Monitorear la formación de la espuma y contener su desarrollo
- Mantener una concentración de oxígeno disuelto de 2 ± 0.5 mg/L, monitorear de ser posible cada hora
- Analizar SSTLM y SSVLM para poder estimar el desarrollo de la biomasa en el tanque de aireación. Además, se tomaran muestras del agua residual cruda y tratada para determinar la DBO o DQO y SST o en su defecto turbiedad, con la finalidad de poder establecer la eficiencia del proceso alcanzada hasta el momento
- Calcular recirculación y purga de lodos (Referirse al taller de cálculos”) con la información anterior y realizar los ajustes necesarios
- Continuar con registro de la información en el formato que se muestra en la Tabla 4.3
- Continuar con pruebas de sedimentabilidad y registrar los resultados en el formato que se muestra en la Tabla 4.4

A partir de día 11

- Aumentar el gasto de entrada al 100 por ciento
- Monitorear la formación de la espuma y contener su desarrollo

- Mantener una concentración de oxígeno disuelto de 2 ± 0.5 mg/L, monitorear de ser posible cada hora
- Analizar SSTLM y SSVLM para poder estimar el desarrollo de la biomasa en el tanque de aireación. Además, se tomaran muestras del agua residual cruda y tratada para determinar la DBO o DQO y SST o en su defecto turbiedad, con la finalidad de poder establecer la eficiencia del proceso alcanzada hasta el momento
- Calcular recirculación y purga de lodos, con la información anterior y realizar los ajustes necesarios
- Continuar con registro de la información en el formato que se muestra en la Tabla 4.3
- Continuar con pruebas de sedimentabilidad y registrar los resultados en el formato que se muestra en la Tabla 4.4

4.3 TRANSICIÓN DEL ARRANQUE

Es difícil determinar cuándo termina el arranque y cuándo inicia la operación normal; por esta razón, a continuación se enlistan algunas formas de conocer si ya se ha llegado a la operación normal de la planta.

- Graficar la eficiencia de remoción contra el tiempo (días). Los valores similares de eficiencias esperadas durante varios días, tal vez indique que ya se está en una operación normal
- Graficar las concentraciones de DBO o DQO contra el tiempo. La concentración caerá hasta valores esperados o de diseño
- Determinar si la concentración de SSVLM es la deseada en el tanque de aireación

- Determinar si la concentración de nitrógeno o nutrientes se ha establecido de acuerdo al diseño
- Calcular la purga de lodos y determinar si se ha establecido de acuerdo al diseño.
- Determinar si se ha logrado la relación A/M óptima, de acuerdo al diseño
- Determinar si se ha logrado la edad de lodos de acuerdo al diseño
- Comprobar que la utilización de OD está en los rangos comunes
- Ajustar la recirculación a su valor
- Corroborar que se han alcanzado las metas de calidad de acuerdo con el diseño a fin de alcanzar niveles aceptables de DBO y sólidos suspendidos

4.4 PROBLEMAS TÍPICOS EN EL ARRANQUE

En el arranque puede presentarse cualquier número de problemas, por eso los preparativos previos al arranque son importantes. Aun así, es casi seguro que surja algún problema. A continuación se presentan los problemas típicos más comunes en el proceso de arranque de plantas de tratamiento. Los problemas en equipos no se han incluido, pues cada proveedor lo debe resolver.

4.4.1 ESPUMA

Como ya se mencionó, ésta es causada principalmente por la formación de microorganismos jóvenes y en la medida que la población se vaya incrementado y éstos se constituyan como conglomerados bacterianos o flóculos, su generación ira en decremento. Su formación se puede regular controlando la cantidad de agua residual que entra al tanque de aireación, esto es, iniciando con un 20 por ciento del gasto de diseño y conforme

pasan los días ir incrementando el flujo hasta llegar al 100 por ciento del gasto de diseño.

Si la espuma corre el riesgo de salir del reactor se puede controlar mediante una cortina de agua.

4.4.2 SEDIMENTACIÓN DE LODOS BIOLÓGICOS

Los problemas de sedimentabilidad de lodos o formación de flóculos en el arranque son ocasionados por falta de microorganismos o porque la recirculación y/o purga de lodos no se realiza adecuadamente. A continuación se presentan la Tabla 4.6 con los principales problemas, síntomas y sus causas.

4.4.3 BAJA REMOCIÓN DE DBO

Puede ser debido a que aún no se ha logrado la concentración deseada de SSVLM o a que la recirculación y la purga de lodos no se han alcanzado el equilibrio deseado.

4.4.4 TEMPERATURA Y CONDICIONES CLIMÁTICAS DESFAVORABLES

Las épocas estacionales están ligadas directamente en la temperatura ambiente y estas condiciones pueden favorecer o desfavorecer el desarrollo microbiológico, más específicamente en su metabolismo. Así, en condiciones de verano el incremento de la temperatura favorece el metabolismo celular y los microorganismos se reproducirán más rápidamente. Sin embargo, en condiciones de invierno el metabolismo celular se ve reducido y por lo que la estabilización del sistema tomará más tiempo de lo planeado. También, es necesario tomar en cuenta que a mayor temperatura en el agua el oxígeno disuelto permanecerá menor tiempo en

Tabla 4.6 Principales problemas

Tipo de problema	Síntomas	Causa
Abultamiento de lodos	Flóculo grande distribuido en todo el sedimentador, pobre compactación del manto de lodos, predominancia de organismos filamentosos.	Sobrecarga orgánica, relación A/M incorrecta, deficiencia de nutrientes.
Solución	Aumentar recirculación y disminuir purga. Disminuir el gasto de entrada.	
Flotación de lodos	Sólidos biológicos flotan en la superficie del sedimentador.	Demasiado tiempo de retención en el sedimentador.
Solución	<i>Tratar de establecer que la recirculación de lodos sea lo más continua posible.</i>	
Flóculo roto	Flóculo pequeño, flotante, sobrenadante turbio.	Toxicidad, deficiencia de nutrientes, exceso de carga orgánica.
Solución	<i>Aumentar la recirculación de lodos. Disminuir el gasto de entrada. Agregar nutrientes. Determinación de metales.</i>	
Flóculo disperso	Flóculo pequeño y ligero, sobrenadante claro.	Edad de lodos baja
Solución	<i>Aumentar la recirculación de lodos. Disminuir la purga de lodos.</i>	
Flóculo cabeza de alfiler	Flóculo pequeño y pesado, efluente turbio, flóculo de rápida sedimentación.	Edad de lodos alta
Solución	<i>Disminuir la recirculación de lodos. Aumentar la purga de lodos.</i>	

el sistema y por el contrario a menor temperatura el oxígeno permanecerá mayor tiempo.

Esto es contraproducente ya que cuando se tiene mayor actividad microbiana se tiene menor cantidad de oxígeno. En este sentido es muy importante establecer un control adecuado de la relación A/M y por lo tanto de la recirculación y purga de lodos, de tal manera que se llegue a la estabilización en el menor tiempo posible.

Es necesario tomar en cuenta que cuando se empieza el arranque de una PTAR no coincida con épocas invernales o de fuertes vientos, ya que esto provocará primero que los microorganismos no se reproduzcan a la tasa necesaria ya que su metabolismo es bajo y en segundo porque al generarse espumas estas pueden ser arrastradas fuera del sistema por el viento y ocasionar que las áreas circundantes se ensucien o se llenen de lodo.

5

SEGURIDAD E HIGIENE

La seguridad en el trabajo como factor social es importantísima, y como factor de rentabilidad es sin duda un aspecto sumamente relevante a tener en cuenta y en mente por parte del accionista o empresario. Sin embargo, se le minimiza pensando tal vez que los riesgos de accidentes son muy pocos y que otros aspectos son prioritarios, tales como los ingresos, las ventas, la compra de materia prima, etcétera.

La seguridad como factor de rentabilidad, aumenta la calidad del producto, mejora las condiciones de trabajo, evita riesgos innecesarios, previene accidentes y disminuye las cuotas al Seguro Social por tener un bajo índice de siniestralidad. Sin embargo, para que el empresario haga conciencia de los riesgos referentes a seguridad industrial, es necesario proporcionarle un conocimiento integral y simplificado de la problemática de la seguridad en el trabajo, con el fin de que aplique el reconocimiento, la evaluación y control de riesgos en la empresa y para mejorar la salud de la organización.

Los accidentes industriales o las condiciones de trabajo poco seguras pueden provocar enfermedades y lesiones temporales o permanentes e, incluso, causar la muerte. También ocasionan una reducción en la eficiencia y pérdida en la productividad de cada trabajador (Obregón, UPIICSA).

El hombre siempre ha estado enfrentando riesgos de accidentes y/o enfermedades ocupacionales cuando realiza todo tipo de actividades para garantizar su supervivencia y progreso. Así, estos riesgos son un elemento que permanece presente o latente en la realización de cualquier trabajo. Ahora bien, la presencia de estos riesgos ha hecho necesario la inclusión de algunas disciplinas que planteen una serie de estrategias para la prevención de accidentes y enfermedades, tales como la Seguridad Industrial e Higiene Ocupacional.

Se define a la Seguridad Industrial como: Conjunto de principios, criterios y normas cuyo objetivo fundamental es el de controlar el riesgo de accidentes que pudieran derivar en lesiones a las personas, daños a las propiedades y equipos que intervienen en el desarrollo de toda actividad productiva. Y a la Higiene Ocupacional como: Ciencia dedicada al conocimiento, evaluación y control de aquellos factores ambientales, tensiones producidas o provocadas por o con motivo del trabajo, y que pueden ocasionar enfermedades, afectar a la salud o crear algún malestar significativo entre los trabajadores o ciudadanos de una comunidad (Gonzalez, 2005).

La seguridad Industrial y la Higiene Ocupacional nacieron como la respuesta al elevado precio

con que se paga el resultado de los accidentes de trabajo y las enfermedades ocupacionales. Por lo que es muy importante tomar en consideración la siguiente frase.

**Recordar poner en práctica la seguridad
No aprenderla por accidente**

5.1 OBJETIVOS DE LA SEGURIDAD INDUSTRIAL

- Evitar la lesión y muerte por accidente. Cuando ocurren accidentes hay una pérdida de potencial humano y con ello una disminución de la productividad
- Reducción de los costos operativos de producción. De esta manera se incide en la minimización de costos y la maximización de beneficios
- Mejorar la imagen de la empresa y, por ende, la seguridad del trabajador para un mayor rendimiento en el trabajo
- Contar con un sistema estadístico que permita detectar el avance o disminución de los accidentes, y sus causas
- Contar con los medios necesarios para desarrollar un programa y un plan de seguridad industrial que permita a la empresa desarrollar las medidas básicas de seguridad e higiene, contar con sus propios índices de frecuencia y de gravedad, determinar los costos e inversiones que se deriven de lo anterior

Entonces se puede observar que estos objetivos están encaminados a prevenir, minimizar o evitar un accidente, ¿pero qué se entiende por accidente?, algunas definiciones citan:

- Suceso eventual o acción de que involuntariamente resulta daño para las personas o las cosas (Real Academia Española, 1992)
- Cualquier acontecimiento inesperado que al ocurrir afecta la ejecución de un trabajo (Gonzalez, 2005)
- Suceso no deseado que ocasiona pérdidas a las personas, a la propiedad o a los procesos laborales (Obregón, S. María G, UPIICSA)

La amplitud de los términos de esta definición obliga a tener presente que los diferentes tipos de accidentes se hallan condicionados por múltiples fenómenos de carácter imprevisible e incontrolable

5.2 CAUSAS BÁSICAS Y CAUSAS INMEDIATAS

No deben confundirse las causas básicas con las causas inmediatas. Por ejemplo, la causa inmediata de un accidente puede ser la falta de una prenda de protección, pero la causa básica puede ser que la prenda de protección no se utilice porque resulta incómoda. Supongamos que a un tornero se le ha clavado una viruta en un ojo. Investigado el caso se comprueba que no llevaba puestas las gafas de seguridad. La causa inmediata es la ausencia de protección individual, pero la causa básica está por descubrir y es fundamental investigar por qué no llevaba puestas las gafas. Podría ser por tratar de ganar tiempo, porque no estaba especificado que en aquel trabajo se utilizaran gafas (falta de normas de trabajo), porque las gafas fueran incómodas, etcétera. Es pues imprescindible tratar de localizar y eliminar las causas básicas de los accidentes, porque si solo se actúa sobre las causas inmediatas los accidentes volverán a producirse.

5.2.1 CAUSAS BÁSICAS

Las causas básicas pueden dividirse en factores personales y factores del trabajo. Las más comunes son:

5.2.1.1 Factores personales

- Falta de conocimiento o de capacidad para desarrollar el trabajo que se tiene encomendado
- Falta de motivación o motivación inadecuada
- Tratar de ahorrar tiempo o esfuerzo y/o evitar incomodidades
- Lograr la atención de los demás, expresar hostilidades
- Existencia de problemas o defectos físicos o mentales

5.2.1.2 Factores de trabajo

- Falta de normas de trabajo o normas inadecuadas
- Diseño o mantenimiento inadecuado de las máquinas y equipos
- Hábitos de trabajo incorrectos
- Uso y desgaste normal de equipos y herramientas
- Uso anormal e incorrecto de equipos, herramientas e instalaciones

5.2.2 CAUSAS INMEDIATAS

Las causas inmediatas pueden dividirse en actos inseguros y condiciones inseguras. Algunos ejemplos de los más comunes son:

5.3 ACTOS INSEGUROS

- Realizar trabajos para los que no se está debidamente autorizado
- Trabajar en condiciones inseguras o a velocidades excesivas
- No dar aviso de las condiciones de peligro que se observen, o no señalizadas
- No utilizar, o anular, los dispositivos de seguridad con que van equipadas las máquinas o instalaciones
- Utilizar herramientas o equipos defectuosos o en mal estado
- No usar las prendas de protección individual establecidas o usar prendas inadecuadas
- Gastar bromas durante el trabajo
- Reparar máquinas o instalaciones de forma provisional
- Realizar reparaciones para las que no se está autorizado
- Adoptar posturas incorrectas durante el trabajo, sobre todo cuando se manejan cargas a brazo
- Usar ropa de trabajo inadecuada (con cinturones o partes colgantes o desgarrones, demasiado holgada, con manchas de grasa, etcétera)
- Usar anillos, pulseras, collares, medallas, etc. cuando se trabaja con máquinas con elementos móviles (riesgo de atrapamiento)
- Utilizar cables, cadenas, cuerdas, eslingas y aparejos de elevación, en mal estado de conservación
- Sobrepasar la capacidad de carga de los aparatos elevadores o de los vehículos industriales

- Colocarse debajo de cargas suspendidas.
- Introducirse en fosos, cubas o espacios cerrados, sin tomar las debidas precauciones
- Transportar personas en los carros o carretillas industriales

5.4 CONDICIONES INSEGURAS

- Falta de protecciones y resguardos en las máquinas e instalaciones
- Protecciones y resguardos inadecuados
- Falta de sistema de aviso, de alarma, o de llamada de atención
- Falta de orden y limpieza en los lugares de trabajo
- Escasez de espacio para trabajar y almacenar materiales
- Almacenamiento incorrecto de materiales, apilamientos desordenados, bultos depositados en los pasillos, amontonamientos que obstruyen las salidas de emergencia, etcétera
- Niveles de ruido excesivos
- Iluminación inadecuada (falta de luz, lámparas que deslumbran)
- Falta de señalización de puntos o zonas de peligro
- Existencia de materiales combustibles o inflamables, cerca de focos de calor
- Huecos, pozos, zanjas, sin proteger ni señalizar, que presentan riesgo de caída.
- Pisos en mal estado; irregulares, resbaladizos, desconchados
- Falta de barandillas y rodapiés en las plataformas y andamios

5.5 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LOS ACCIDENTES

Este punto en particular fue tomado en su mayoría del libro “Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales. Seguridad e Higiene del Trabajo” escrito por Cortes Díaz, Jose Maria (2002).

5.5.1 AMBIENTE FÍSICO

Se constituye con aquellos factores ambientales que pueden dañar la salud física y orgánica del trabajador, comprende:

- Factores mecánicos: elementos móviles, cortantes, punzantes, etc. De las máquinas, herramientas, manipulación, transporte de cargas, entre otros
- Factores físicos: ruidos, iluminación, vibraciones, temperatura, presión atmosférica, radiaciones ionizantes y no ionizantes.
- Factores químicos: contaminantes sólidos, líquidos y gases presentes en el aire, así como polvos, humos, neblinas, aerosoles y vapores
- Factores biológicos: bacterias, virus, parásitos y hongos

5.5.2 AMBIENTE PSICOLÓGICO

Es consecuencia, fundamentalmente, de factores debidos a los nuevos sistemas de organización del trabajo derivados del desarrollo tecnológico (monotonía, automatización, carga mental, etcétera),

que crea en el trabajador problemas de inadaptación, insatisfacción, desmotivación y estrés.

5.5.3 AMBIENTE SOCIAL

Consecuencia de las relaciones sociales externas a la empresa afectada cada vez más por problemas generacionales, cambio de esquemas de valores, políticos, morales y económicos, etcétera. O bien, internos a la empresa, sistemas de mando, política de salarios, sistemas de promoción y ascensos, organizativos, etcétera

5.6 PROGRAMAS

Para evitar los accidentes y controlar los riesgos de trabajo se deben establecer programas de higiene y seguridad. La mayor parte de estos programas para plantas de tratamiento de aguas residuales contienen tres elementos:

- Políticas por escrito de higiene y seguridad
- Comités de higiene y seguridad
- Capacitación en higiene y seguridad

Un buen programa proporcionará primeros auxilios y servicios médicos, además de un manual con información sobre prevención de accidentes y lesiones. La principal función del Comité de Higiene y Seguridad es la promoción del programa.

Algunas otras actividades son:

- Realizar inspecciones
- Proporcionar y sugerir capacitación
- Conducir investigaciones de accidentes y lesiones

- Desarrollo del manual de higiene y seguridad

La capacitación es importante y sirve de medida preventiva contra accidentes y enfermedades, un programa de capacitación incluirá:

- Peligros en las plantas de aguas residuales
- Higiene y salud industrial para el personal
- Equipos de protección, incluyendo protección respiratoria
- Manejo y almacenamiento de materiales
- Uso seguro de herramientas y equipos
- Protección y control de incendios
- Primeros auxilios, incluyendo respiración artificial
- Mantenimiento industrial
- Reporte de accidentes y enfermedades.
- Investigación de accidentes y enfermedades
- Seguridad en instalaciones eléctricas
- Procedimientos de entrada a espacios confinados y rescate
- Planeación de emergencias

5.7 SUSTANCIAS PELIGROSAS

Se requiere desarrollar un programa de identificación manejo y control de sustancias peligrosas como son los productos químicos. Se debe conocer su peligro potencial y su manejo adecuado para tomar las precauciones necesarias. Las prácticas recomendadas para los trabajadores que manejan este tipo de sustancias, a fin de salvaguardar su integridad física son:

- Uso de equipos de protección
- Procedimientos adecuados en el mantenimiento y almacenamiento de sustancias peligrosas
- Uso de aspiradoras y equipos de limpieza para el área de almacenamiento y lugares de trabajo
- Áreas prohibidas para fumar en lugares donde se manejen sustancias inflamables y explosivas
- Separación de áreas de baños y comedores, de áreas de almacenamiento
- Uso de etiquetas en los recipientes que incluyan información de su manejo, y primeros auxilios
- Colocación de señales de precaución y alerta para los trabajadores
- Carteles con instrucciones de emergencia en lugares críticos
- Acciones para emergencias, como incendios, derrames y fugas, acompañadas de instrucciones para primeros auxilios
- Capacitación para uso y manejo de sustancias peligrosas

5.8 ESPACIOS CONFINADOS

Un espacio confinado es un área accesible, con cualquiera de las siguientes características: accesos limitados para entrar y salir; ventilación natural desfavorable; espacio escaso para trabajadores. La mayor parte de las muertes, lesiones y enfermedades se presentan en espacios confinados y por exposiciones a gases tóxicos o deficiencias de oxígeno en la atmósfera.

Los peligros que puede tener un trabajador en espacios confinados son:

- Deficiencia de oxígeno en la atmósfera.
- Atmósfera inflamable

- Atmósfera tóxica
- Temperaturas extremas
- Derrumbe de materiales
- Ruidos amplificados
- Resbalones por pisos húmedos
- Caída de objetos

Las precauciones que se deben observar en estos espacios incluyen:

- Pruebas y monitoreo de los gases en la atmósfera del espacio confinado
- Ventilación continua general o local con ventiladores manuales
- Equipos de protección personal, principalmente para respiración
- Señales y etiquetas de precaución y de peligro
- Capacitación del personal que trabaja en espacios confinados
- Revisión médica periódica
- Autorizaciones para entrar a espacios confinados
- Aislamiento de espacios confinados
- Personal capacitado en diferentes partes de la planta
- Procedimientos por escrito para trabajar, y poder realizar actividades de rescate
- Equipos de respiración disponibles

5.9 MEDIDAS DE PROTECCIÓN

Deben ser consideradas desde el diseño de las instalaciones; en forma resumida las más importantes son:

- Cercado de la planta de tratamiento o de unidades sin acceso al público general
- Facilidades de estacionamiento y andadores que lleven a las oficinas de la planta

- Áreas de almacenamiento fuera del alcance de personal extraño
- Iluminación adecuada al trabajo que se desarrolle
- Ventilación para prevenir ambientes explosivos
- Protección contra incendios tanto de oficinas como de almacenes, sala de sopladores, sala de cloración, etcétera
- Agua potable suficiente para las actividades normales de la planta, incluyendo abastecimiento a laboratorios, baños, regaderas, etcétera
- Cercas de protección y señales de alerta en instalaciones eléctricas
- Implantación de medidas de seguridad en el laboratorio
- Se hará mención de algunas actividades que se consideran peligrosas, para las cuales deben seguirse procedimientos establecidos para que puedan llevarse a cabo
- Trabajos bajo la superficie, en alcantarillados, registros, estaciones de bombeo, desarenadores, túneles, trincheras, tanques, etcétera
- Levantar objetos que por su forma, tamaño, peso, etc, pueden causar lesiones en la espalda, o accidentes
- Uso de escaleras; las caídas en ellas son una de las principales causas de lesiones
- Trabajos en áreas de producción y manejo de instalaciones de gas

5.10 SEGURIDAD EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

5.10.1 SALUD

El riesgo a enfermedades, principalmente la hepatitis, siempre se ha relacionado con plantas de tratamiento de aguas residuales.

Las lesiones y enfermedades llevan a padecimientos y pérdidas de los recursos humanos. Además se tiene un impacto negativo en la eficiencia de la planta, la moral de los empleados, las relaciones públicas, y finalmente una incidencia en los costos.

La dirección efectiva de las plantas de tratamiento refleja la excelencia en operación, incluyendo aspectos de higiene y seguridad. La higiene y seguridad se deben iniciar y mantener para prevenir enfermedades y accidentes en la planta.

Programas

La mayor parte de los programas de higiene y seguridad para plantas de tratamiento de aguas residuales contienen tres elementos:

- Políticas por escrito de higiene y seguridad
- Comités de higiene y seguridad
- Capacitación en higiene y seguridad

Un buen programa proporcionará primeros auxilios y servicios médicos, además de un manual con información sobre prevención de accidentes y lesiones.

Medidas de higiene

Los trabajadores relacionados con el manejo de aguas residuales y lodos generados en los procesos de tratamiento, están expuestos al contacto con microorganismos, por lo que su riesgo de contraer enfermedades infecciosas es alto; las siguientes enfermedades son comunes para quienes trabajan en plantas de tratamiento:

- Hepatitis A infecciosa
- Infecciones virales
- Infestación de parásitos
- Enfermedades gastrointestinales
- Anormalidades en fosas nasales, oídos y piel por infecciones

La mejor defensa contra infecciones virales y bacterianas es la observación de prácticas de higiene personal. A continuación se dan algunas recomendaciones para personas que trabajan cerca de aguas residuales o lodos.

- Mantener manos y dedos lejos de la nariz, boca, ojos y oídos
- Usar guantes de hule cuando se limpian bombas o equipos, se maneje agua residual, rejillas, lodos o arena, u otras tareas que involucren contacto directo con las aguas residuales o lodos
- Usar guantes siempre que se tenga una lesión en las manos, como quemadura, cortada, raspón, etc. para evitar el contacto directo de microorganismos con el torrente sanguíneo

- Lavarse las manos con jabón, preferentemente con agua caliente, antes de comer o fumar y después de terminar los trabajos
- Mantener las uñas cortas y remover los materiales extraños que se introduzcan en las mismas
- Se recomienda el uso de dos gavetas por trabajador; una para guardar ropa de calle y limpia y otra para la ropa de trabajo
- Informar cualquier lesión por pequeña que sea incluyendo raspones para que se apliquen los primeros auxilios
- Bañarse al finalizar su turno de trabajo

Para asegurar la máxima protección a la salud, los empleados deben recibir vacunación contra:

- Hepatitis A
- Hepatitis B
- Influenza
- Sarampión
- Paperas
- Neumonía
- Rubéola
- Tétanos y difteria

5.10.2 UNIDADES DE PROCESO

Uno de los principales riesgos en una PTAR es la de caer accidentalmente en las unidades de proceso, que generalmente tiene una profundidad de 3 a 4 m, por lo que es indispensable que estas unidades siempre cuenten con barandales de protección (Ilustración 5.1 e Ilustración 5.2), esto con la finalidad de prever cualquier accidente.

Otra medida de seguridad es que las unidades de proceso cuenten con salvavidas colocados preferentemente en los barandales, por si alguna persona cae accidentalmente dentro de una de estas

Ilustración 5.1 Barandales en tanque de aireación



Ilustración 5.2 Barandales en sedimentador secundario



unidades, en tal caso sería considerado como un accidente extremo (Ilustración 5.3). Para evitar este tipo de accidentes es conveniente que las inspecciones, recorridos y tomas de muestras siempre se realicen entre dos personas, ya que si alguna de ellas sufre un percance la otra podrá auxiliarla o dar la voz de alerta.

Una de las unidades con más riesgo es el tanque de aireación. En un primer caso están los que cuentan con aireadores superficiales, en donde se tiene una agitación vigorosa en el agua originada por aspas (Ilustración 5.4), las cuales pueden presentar una gran variedad de configuraciones dependiendo del fabricante

Ilustración 5.3 Colocación de salvavidas en barandales



(Ilustración 5.5). Si una persona cae dentro de esta unidad corre el riesgo de ser golpeada por la turbulencia del agua o las aspas y quedar inconsciente, lo cual dificultará su rescate.

Ilustración 5.4 Agitadores superficiales



En un segundo caso, se encuentran los tanques de aireación por difusión de burbuja fina, en el cual se aprecia un ligero burbujeo de aire en la superficie del agua (Ilustración 5.6).

Sin embargo, el peligro radica en que el tanque se encuentra muy saturado de aires, como se muestra en la Ilustración 5.7, esto imposibilita

Ilustración 5.6 Vista superficial de un tanque de aireación con difusores de burbuja fina



te. Es conveniente que como primera acción de rescate se dé la indicación de apagar los aireadores superficiales, y después arrojar el salvavidas.

Ilustración 5.5 Aspas de un agitador



que cualquier persona pueda nadar o sobretodo flotar, por lo que el riesgo de que se ahogue es extremadamente alto.

Si alguna persona accidentalmente cae en este tipo de unidades, es conveniente que como primera acción de rescate se dé la indicación de apagar los sopladores, y después arrojar el salvavidas.

Ilustración 5.7 Tanque saturado de aire



Actualmente el diseño de una zanja de oxidación, que es una modalidad del proceso de lodos activados, presenta en su tanque de aireación una combinación de agitación y aireación de burbuja fina, la primera le proporciona un impulso de corriente al agua y la segunda el oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica. Así, en este caso se presenta un doble riesgo, ya que al caer la persona puede ser arrastrada hacia las aspas o no podrá nadar por la gran cantidad de aire que está presente en el agua (Ilustración 5.8).

En el caso de presentarse una caída en una zanja de oxidación con esta configuración, como primera acción de rescate se debe proceder a dejar fuera de operación los impulsores y los sopladores, y después arrojar el salvavidas.

Ilustración 5.8 Configuración de una zanja de oxidación



5.10.3 GAS CLORO

La siguiente información fue tomada del Departamento de Seguros de Texas, División de Compensación para Trabajadores, HS04-076B (11-08) Capacitación de Seguridad de 5 Minutos.

La exposición a cantidades concentradas del gas de cloro puede ser tóxica y puede causar irritación a la piel, los ojos, la nariz, y las membranas mucosas. El gas de cloro no tiene que ser peligro serio si es que las personas que trabajan con él están adecuadamente capacitadas en su manejo. Los siguientes son algunos consejos para asegurar el manejo seguro del cloro.

- Proporcionar instrucciones y supervisión apropiada a los trabajadores encargados con la responsabilidad del equipo.
- Proporcionar aparatos respiratorios autónomos apropiados en las áreas donde se almacene o se use el cloro
- Mantener todos los aparatos respiratorios fuera del área de cloro
- Preparar planes de evacuación de las áreas donde pueda haber fugas de cloro. Recuerda irse cuesta arriba y contra el viento
- Nunca almacenar materiales inflamables o combustibles cerca de contenedores de cloro
- Nunca aplicar calor directamente a un contenedor de cloro
- Nunca intentar soldar tubería “vacía” de cloro sin haberla purgado primero
- Instalar duchas de seguridad e instalaciones para lavado de ojos cerca del equipo de cloro
- Si hay una fuga, las reparaciones deben hacerse por dos personas por lo menos.
- Nunca rociar agua en los contenedores con fugas; esto puede empeorar la fuga.
- Al entrar en un área de cloración, respirar superficialmente hasta estar seguro de que no haya fuga de gas cloro
- Utilizar el equipo de cloración para deshacerse directamente del gas cloro
- Asegurar los contenedores de cloro con cadenas, calzos, o pernos

Generalmente el cloro líquido es transportado en cilindros de 100 o 150 libras(45 o 68 kg), contenedores de una tonelada, carrotanques, vagones cisterna y embarcaciones. Por lo que el departamento de Transporte controla los envíos de cloro por medio de los siguientes reglamentos:

- La regulación del funcionamiento y la inspección de los contenedores de cloro
- Los vehículos que transportan el cloro deben identificarlo como un gas venenoso

El número de identificación del cloro de las Naciones Unidas (1017) aparece en los paquetes, en los lados de los camiones y los carrotanques, y en los papeles de envío.

5.10.3.1 Reglas de seguridad para los cilindros y contenedores

Cilindros de 100 y 150 libras (45 o 68 kg)

- Nunca exponga un cilindro a calor
- Nunca trate de forzar un tapón fusible
- Mantenga siempre la campana en su lugar, excepto cuando se está utilizando el cilindro
- Nunca levante un cilindro por la campana.
- No conecte a un colector común dos o más cilindros que estén descargando líquido
- Nunca deje caer o tirar un cilindro
- Contenedores de una tonelada
- Nunca exponga un contenedor a calor excesivo
- Nunca trate de forzar un tapón fusible.
- No mueva contenedores llenos de una tonelada con equipo clasificado de menos de dos toneladas
- No conecte a un colector común las válvulas de líquido de dos o más contenedores.
- Almacene contenedores en áreas marcadas aparte y protegidas de fuentes de calor
- No use o almacene contenedores cerca de tomas de aire o sótanos donde los gases pudieran extenderse a otras áreas

5.10.3.2 Hoja de datos del gas cloro

a) Descripción

- El gas tiene un color amarillo verdoso, no es inflamable, y está aproximadamente 2.5 veces más pesado que el aire, así que normalmente se concentra a nivel del piso. Esto significa que los sótanos, áreas de almacenamiento subterráneas, los pozos para elevadores y otras áreas en su trabajo pueden convertirse en lugares peligrosos en caso de un escape o derrame accidental
- Si el cloro es enfriado a -1.5°C (29.3°F) se convierte en un líquido.
- El cloro líquido es de color ámbar
- En estado líquido ocupa menos espacio
- Si el cloro líquido se escapa de sus contenedores especiales, lo más seguro es que comenzará a hervir y se convertirá en gas
- El cloro debe mantenerse lejos del agua porque reaccionan para formar ácido hipocloroso y ácido hipocloroso. Estos dos ácidos son extremadamente corrosivos

b) Peligros

El gas cloro puede ser tóxico y causar irritación en la piel, los ojos, la nariz, y las membranas mucosas. El gas cloro en líquido puede causar irritación y ampollas severas en la piel

c) Precauciones para la salud

Usar el gas cloro solamente en áreas bien ventiladas.

- Soluciones oftálmicas, duchas, y oxígeno deben estar a la mano. Aparatos respiratorios indepen-

dientes o de tipo SCBA también deben estar disponibles

d) Ropa de protección personal

Al manejar el gas cloro, la ropa protectora debe incluir:

- Careta de cara completa o goggles no-ventilados para químicos
- Guantes de hule resistentes a químicos
- Delantal o chaqueta
- Mangas largas y pantalones
- Deben ser prohibidos los zapatos abiertos y los tenis al manejar el gas cloro

e) Efectos a la salud

Concentraciones bajas: sensación de ardor en los ojos, la nariz, y la garganta, rojez en la cara, estornudos y tos.

- Concentraciones altas: tensión en la garganta y pecho – edema pulmonar. Mil partes por millón (PPM) provoca rápidamente la muerte
- Al entrar en contacto con la piel, se puede sentir irritación y una sensación de quemadura por frío
- Si se ingiere cloro, la boca, garganta y estómago pueden ser quemados
- Los ojos pueden ser lesionados si son salpicados con cloro
- A temperatura ambiental, el cloro líquido se vaporiza inmediatamente. El límite de exposición atmosférica al cloro es de una parte por millón (ppm)
- A un nivel de 0.3 ppm, se puede detectar un olor penetrante e irritante
- A un nivel de 0.3 ppm a 0.6 ppm, se pueden sentir irritaciones graves en la nariz y en el aparato respiratorio. El cloro está comenzando a reaccio-

nar con la delgada capa de humedad que cubre las membranas. Una solución débil de ácido hidrocórico es formada, la cual puede comenzar a atacar las membranas, también se comienza a sentir dolor de cabeza, se comienza a toser y a sentir náuseas. El cuerpo está advirtiendo de una exposición potencialmente peligrosa

- Afortunadamente las exposiciones a largo plazo de niveles bajos de cloro en la atmósfera no parecen tener consecuencias mayores

f) Primeros auxilios

- Inhalación
- Colocar un respirador de aire auto-contenido a la víctima
- Llevar a la víctima inmediatamente a un lugar en donde haya aire fresco
- Si la víctima ha dejado de respirar, administrar respiración artificial
- Sacar a la víctima del área contaminada
- Mantener caliente a la víctima y en una posición
- Contacto con la piel
- Poner a la víctima en una ducha, quitando toda la ropa contaminada
- Lavar el área afectada con jabón y agua
- Permanecer en la ducha durante 15 minutos
- Después de la ducha, no utilizar ninguna loción, aceites o neutralizadores químicos
- Contacto con los ojos
- Lavar los ojos con agua durante 15 minutos, manteniendo los párpados bien abiertos
- Llamar al personal de emergencias o a un médico de inmediato

- Lavar los ojos por un segundo periodo de 15 minutos si el personal de emergencia o el médico no está disponible inmediatamente

5.10.3.3 Instrucciones para fijar cerca del clorador, sulfonador, o amoniador

1. Hacer girar la manija de la válvula en el sentido de las agujas del reloj para cerrar la válvula del cilindro
2. Esperar que baje el indicador del manómetro de flujo a cero. El indicador en frente del alimentador de gas debe indicar cero gas
3. Esperar aproximadamente un minuto, el indicador debe permanecer en cero. Si el indicador baila o no cae hasta cero, es posible que la válvula no esté bien antes de continuar
4. Apagar el eyector y asegurar que el indicador de suministro de gas quede en la posición de “No Gas” al dar vuelta a la manija de reposición. Si el indicador vuelve a cero, hay presión de gas todavía presente o hay una fuga de aire en el sistema. Referirse al manual de instrucciones si es obvio que hay una fuga de aire
5. Aflojar el tornillo del yugo de alimentación de gas. Quitar el alimentador de gas de la válvula
6. Reemplazar el cilindro de gas
7. Quitar la vieja junta de plomo. Inspeccionar y limpiar las superficies del alimentador de gas y de la válvula. Instalar la nueva junta de plomo
8. Posicionar el alimentador de gas en el nuevo cilindro de gas y apretar el tornillo del yugo. No apretar demasiado

9. Abrir la válvula del cilindro de gas y cerrar rápidamente. Inspeccionar para fugas. Si hay fugas, prender el eyector y repetir los pasos (2), (3), y (4) y componer las fugas

5.10.3.4 Soluciones para prueba de fugas: clorador/sulfonador, amoniaco, amoniador: blanqueador.

1. Abrir la válvula del cilindro de gas aproximadamente $\frac{1}{4}$ de vuelta y dejar la llave del cilindro en la válvula
2. Prender el eyector

5.10.3.5 Instrucciones para fijar los contenedores de una tonelada al cambiarlos

1. Girar la manija de la válvula en dirección de las agujas del reloj
2. Permitir que el indicador en el medidor de flujo llegue a cero. El indicador en frente del alimentador de gas debe estar en la sección roja, lo cual indica cero gas. Todo el líquido tiene que vaporizarse del sifón
3. Esperar aproximadamente un minuto. El indicador debe permanecer en cero. Si el indicador baila o no cae hasta cero, es posible que la válvula no esté bien cerrada. Asegurarse de que la válvula esté cerrada antes de continuar
4. Apagar el eyector y asegurarse de que el indicador de suministro de gas quede en

la posición de “No Gas” al dar vuelta a la manija de reposición. Si el indicador vuelve a cero, hay presión de gas todavía presente o hay una fuga de aire en el sistema. Referirse al manual de instrucciones si es obvio que hay una fuga de aire

5. Aflojar el tornillo del yugo de alimentación de gas. Quitar el alimentador de gas de la válvula
6. Reemplazar el contenedor de una tonelada, asegurarse de que el contenedor lleno esté orientado con las válvulas en posición vertical, una válvula arriba de la otra
7. Quitar la vieja junta de plomo. Inspeccionar y limpiar las superficies del alimentador de gas y de la válvula. Instalar la nueva junta de plomo
8. Posicionar el alimentador de gas en el nuevo cilindro y apretar el tornillo del yugo. No apretar demasiado
9. Asegurarse de que el calentador esté conectado y funcionando. Un calentador que funciona sirve para vaporizar cualquier líquido retenido
10. Abrir la válvula del cilindro de gas y cerrar rápidamente. Inspeccionar para fugas. Si hay fugas, prender el eyector y repita los pasos (2), (3), y (4) y reparar las fugas
11. Abrir despacio la válvula del contenedor de una tonelada aproximadamente $\frac{1}{4}$ de vuelta y dejar la llave del cilindro en la válvula
12. Encender el eyector



CONCLUSIONES DEL LIBRO

La información contenida en este libro le permite al personal que labora en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales aprender los procesos que conforman el tratamiento de lodos activados, así como sus diferentes modalidades. Además, como operarlo y controlarlo, mediante los indicadores sensoriales y analíticos, y como se interrelacionan y a saber interpretarlos, por lo que entendió la necesidad de monitorearlos periódicamente, con la finalidad de obtener tendencias de comportamiento.

La información que obtenga del monitoreo la deberá utilizar para realizar un balance de masas para establecer un seguimiento de la relación alimento/microorganismos, así como de la recirculación y purga de lodos, con la finalidad de mantener un sistema maduro que proporcione una calidad de agua que cumpla con el requerimiento bajo el cual fue diseñada la planta.

Otra información que le brinda este documento al operador son las guías para poder establecer un adecuado control del sistema y llevar a cabo lo antes descrito, por lo que deberá elaborar e implementar una serie de registro, los cuales deben contener el proyecto ejecutivo de la planta de tratamiento y los resultados de los parámetros que se analizan rutinariamente, esta información le proporciona un mejor conocimiento del proceso y facilitará la solución de los problemas operacionales que se le presenten. En este sentido, este libro le proporciona ejemplos de problemas reales y sus soluciones.

Con la información que brinda este documento el operador puede llevar a efecto el mantenimiento de la planta de tratamiento tomando en cuenta la elaboración de un calendario de mantenimiento preventivo, las principales herramientas a emplear, procedimientos especiales y el manejo de refacciones. Además, cuenta con una descripción de las actividades más usuales de mantenimiento preventivo a realizar en las diferentes unidades de proceso.

Es común que en las plantas de tratamiento se presenten problemas operacionales, en las diferentes unidades de proceso, ya sea por condiciones climáticas o por averías de equipo electromecánicos o por calidad del agua, por lo que este libro le brinda al operador un conjunto de recomendaciones para resolver los problemas que se presenten, las cuales están contenidas en unas

guía. Además, de una serie de ejemplos reales que se presentaron en diversas plantas, identificando las causas y como se resolvieron.

En algunos casos la PTAR es parada en su totalidad por alguna falla importante o porque requiere de algún mantenimiento mayor, por lo que una vez que se cuanta con las condiciones restablecidas es necesario arrancar el sistema de tratamiento, por lo que el operador ahora cuenta con el procedimiento para ejecutar esta actividad, la cual podrá llevar a cabo con inoculo o sin él.

Finalmente, con el último capítulo el operador tiene a la mano diversos conceptos que tratan sobre la seguridad en una planta de tratamiento, dentro de los cuales destacaron; las causas que originan un accidente, lo que es un acto y condiciones inseguras, las medidas para prevenirlos, el cómo establecer programas de seguridad e higiene y las medidas de seguridad que debe tener en una planta de tratamiento de aguas residuales. En una parte anexa de este libro el personal de operación puede acceder a una recopilación de temas que pueden ser de importancia en la operación en una planta de tratamiento, por lo que, en el primer tema el operador conoció que el proceso de lodos activados es un sistema biológico constituido por una gran diversidad de microorganismos que se relacionan entre sí para constituir un flóculo, el cual es una base importante para obtener una agua clara, ya que éstos deben presentar una buena sedimentabilidad y mantenerse en condiciones saludables. Para lograr esto, es necesario que el operador realice observaciones periódicas al microscopio, y así conocerá e identificará los microorganismos que conforman su sistema, así como del estatus que guardan éstos en el reactor biológico.

Toda PTAR cuenta con equipos electromecánicos, los cuales son parte de cada una de las operaciones unitarias que conforman el proceso de tratamiento, por lo que el operador, conoció su importancia, una descripción y función de cada uno de estos equipos.

El operador deberá contar con un manual de operación que le facilite su trabajo, pero si no cuenta con éste, el presente libro, le proporciona las guías para elaborarlo, tomando en consideración que debe contener; una breve descripción del proceso, la manera de ejecutar cada una de las tareas de control, consideraciones de operación, formatos o bitácoras de registros de operación, y planos o diagramas de flujo lo más detallados.

BIBLIOGRAFÍA

- American Water Works Associations, *Manual of Water Supply Practices, Water Chlorination Principles and practices*, pp 13-15, 1973.
- Angehrn, M. et.al, *Ultraviolet Disinfection of water, Aqua No.2*, 1984 pp 109-115
- Aznar Carrasco, Andres, *Técnica de Aguas*, Editorial Alción, S. A., 2ª Edición 1997
- Barranqué, Christian et. al, *Manual Técnico del Agua DEGREMONT*, Cuarta Edición, 1979 pp 157-158
- CEPIS Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. *Ciclo Tratamiento. Serie Filtración Rápida. Manual III: Teoría. Tomo III Filtración*. CEPIS, Perú, 1992
- Cortes Diaz, Jose Maria. *Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales. Seguridad e Higiene del Trabajo*. Ed. 5. Casa Editorial Mares. 2002. ISBN 84-95447-33-9. España.
- Eckenfelder W. W. (1988). *Industrial water pollution control*. 1a Ed. McGraw Hill. College Division, EUA.
- Geo. Clifford White, *Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*, 3ª Edition Van Nostrand Renhold, New York, 1992.
- González, Nelson, *Seguridad e Higiene Industrial. Principios generales*. Edición personal 1999. Venezuela.
- James M. Montgomery Consulting Engineering, Inc., *Water Treatment Principals and Design*, Wiley-Interscience, New York, N.Y., pp 269-271, 1985.
- Kenneth D. Kerri, *Water Treatment Plant Operation, A field Study Training Program, Volumen I*, California State University, Sacramento School of Engineering, 3ª Edition, 1994, pp 266-271
- Maskew, F. G., Charles, G. J., Alexander, O. D., *Purificación de Agua y Tratamiento de Aguas Residuales, Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales*, ed. Limusa, pp 420-423, 1986.
- Metcalf y Eddy Inc. (2003). *Wastewater engineering, treatment and reuse*. 4a Ed. McGraw Hill. Nueva York.
- Moe, C., *Waterborne transmission of infection agents In: Manual of environmental microbiology*, C. Hurst, G. Knudsen, M. Cclnerney, L. Stetzenbach and M. Walter, editores. American Society for Microbiology Washington, 1997.
- Moeller Ch. G., Sandoval Y. L., Ramírez G. A., Ramírez C. E., Cardoso V. L., Escalante E. V., Tomasini O. A., Miranda M., E., Mijailova N., P. y Ortíz R. G. "Tratamiento de Aguas Residuales", IMTA, 2011, Jiutepec, Morelos, México.

Obregón S. M. G. (2004). *Una semblanza sobre seguridad industrial*. UPIICSA 35.

Ramalho R. S. (1993). *Tratamiento de aguas residuales*. 2a Ed. Editorial Reverté S. A, Barcelona.

Raymond Desjardins, *Le Traitement Des Eaux*, Editions de L'Ecole Polytechnique De Monsstreal, 1997

Reynolds T. D., y Richards P. A. (1995). *Unit operation and processes in environmental engineering*. 2a Ed. PWS, Publising Company, Boston.

Robinson D., White J. y González R. (1995) *Planta de tratamiento de aguas residuales "Dulces Nombres"*. Burns & McDonnell Engineering Company, 1-5.

Romero R. J. (2005). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. 3a Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá.

Syed R. Q. (1999). *Wastewater treatment plants, planning, design and operation*. 1a Ed.

Tchobanoglous, George; Burton, L. Franklin *Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse Metcalf y Eddy, Inc.*, 3^a Edition, McGraw-Hill New York, N. Y., pp 332-334, 1991.

White, G. C., *Handbook of Chlorination*, 2nd. ed., Van Nostrand Reinhold Company, New N.Y., 1986 pp 208-212

Páginas de Internet

ABS. ABS Group. <http://www.absgroup.com.es/home.asp>.

Aeration Industries International. *Aire-O2: Aspirator aerator. The industry workhorse since 1974*. <http://www.aireo2.com/main.asp?pind=aspirator>

Decantek. *Soluciones medioambientales para el tratamiento del agua: Sedimentación*. <http://www.decantek.com>.

Departamento de Seguros de Texas, División de Compensación para Trabajadores, HS04-076B (11-08) *Capacitación de Seguridad de 5 Minutos*. <http://www.tdi.texas.gov/pubs/videoresourcessp/spt5chlorine.pdf>.

Gardner Denver. *Sopladores centrífugos multietapas/extractores*. <http://www.pronesa.com/partes.pdf>.

Impel. Impel de México S.A. de C.V.: *Innovación en tecnología ambiental*. <http://www.impel.com.mx/productos.htm>

Kaeser. Kaeser compresores: *Catálogo de productos*. http://mx.kaeser.com/Products_and_Solutions/default.asp Mixing System Inc (2009). *Technology*. <http://www.mixing.com/technology/default.asp>

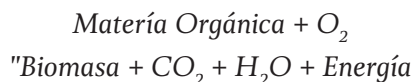
A

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

A.1. ASPECTOS GENERALES DEL PROCESO

Este sistema de tratamiento biológico se desarrolla en un ambiente aerobio, con microorganismos y materia orgánica. La diferencia consiste en que el proceso de lodos activados, los microorganismos se encuentran completamente mezclados con la materia orgánica del agua residual, la que sirve de sustrato para su propio crecimiento y reproducción.

El mecanismo básico del sistema se representa de una manera simple con la siguiente reacción química:



Los primeros microorganismos metabolizan una parte de la materia orgánica absorbiéndola a través de su membrana celular, produciendo ciertos productos de desecho, los que se utilizan como alimento por otros microorganismos. Este proceso de degradación acumulativa continúa hasta que la materia orgánica originalmente compleja es degradada y asimilada por la población biológica formando cúmulos biológicos llamados flóculos. A medida que el flóculo crece y envejece, cambia su composición bacteriana, surgen los protozoos que se alimentan de bacterias y una alta proporción de flóculos pasa a estar

constituida por células muertas y sólidos inertes acumulados, al tiempo que disminuyen la actividad biológica y la capacidad de oxidación. En otras palabras, se puede establecer que los flóculos pasan por diferentes fases; crecimiento; maduración y envejecimiento. El lodo activado cuando es sano es de color café, huele a “tierra mojada”, presenta una estructura granular y sedimenta rápidamente. Por el contrario, un flóculo pobre, liviano o flotante de crecimiento filamentoso, no sedimentará por gravedad y contribuirá con DBO y SST en el efluente.

El agua residual que ingresa continuamente al tanque de aireación, se une con los lodos activados recirculados provenientes del sedimentador secundario, donde el aire es introducido para realizar una mezcla completa y proporcionar el oxígeno necesario para que los microorganismos degraden la materia orgánica. La mezcla de lodo activado y agua residual que se produce en el tanque de aireación, se le denomina “licor mezclado”, el cual se envía a un tanque de sedimentación para la separación sólido-líquido del licor mezclado, el líquido obtenido finalmente se desinfecta, y parte del lodo activado sedimentado se recircula, el lodo sobrante se envía a tratamiento y disposición. El aire es introducido al reactor, ya sea mediante difusores (Ilustración A.1 e Ilustración A.2) que se colocan en el fondo o por aireadores mecánicos superficiales los que

pueden ser fijos, ubicados sobre plataformas o flotantes (Ilustración A.3 e Ilustración A.4).

A.2. COMPONENTES DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

El proceso básico de lodos activados se integra de varios componentes que se interrelacionan entre sí, La Ilustración A.5 y la Ilustración A.6 presentan el flujo, las unidades y su función en una planta de tratamiento de aguas residuales completa.

- Un pretratamiento, en donde se eliminan sólidos gruesos (generalmente basura inorgánica) y arenas, por lo que

las unidades que se emplean son rejillas gruesas y finas, así como canales desarenadores

- Un tanque de regulación o homogenización, en el cual las variaciones de calidad del agua pueden ser amortiguadas. Además, este tanque permite absorber las variaciones de caudal de agua residual que se presentan durante el día, para así poder alimentar un gasto constante al sistema biológico. Un sedimentador primario, en el que se eliminan sólidos suspendidos totales, principalmente constituidos de materia orgánica
- Tanque de aireación (uno o varios) diseñado para un mezclado completo o trabajar como flujo pistón

Ilustración A.1 Aireación con difusores de disco



Ilustración A.2 Aireación con difusores tubulares



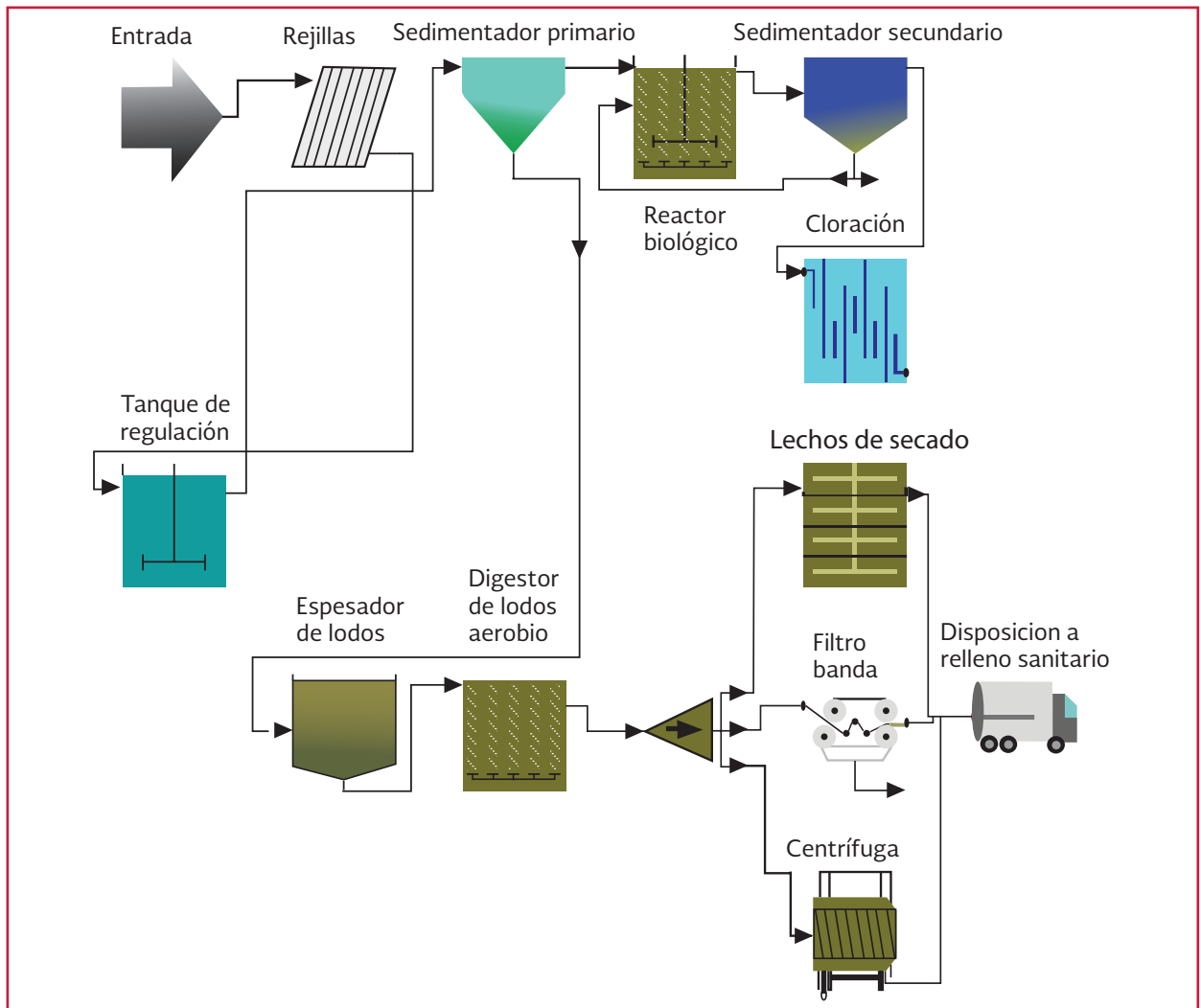
Ilustración A.3 Difusión de aire con aireador mecánico fijo



Ilustración A.4 Difusión de aire con aireador mecánico flotante

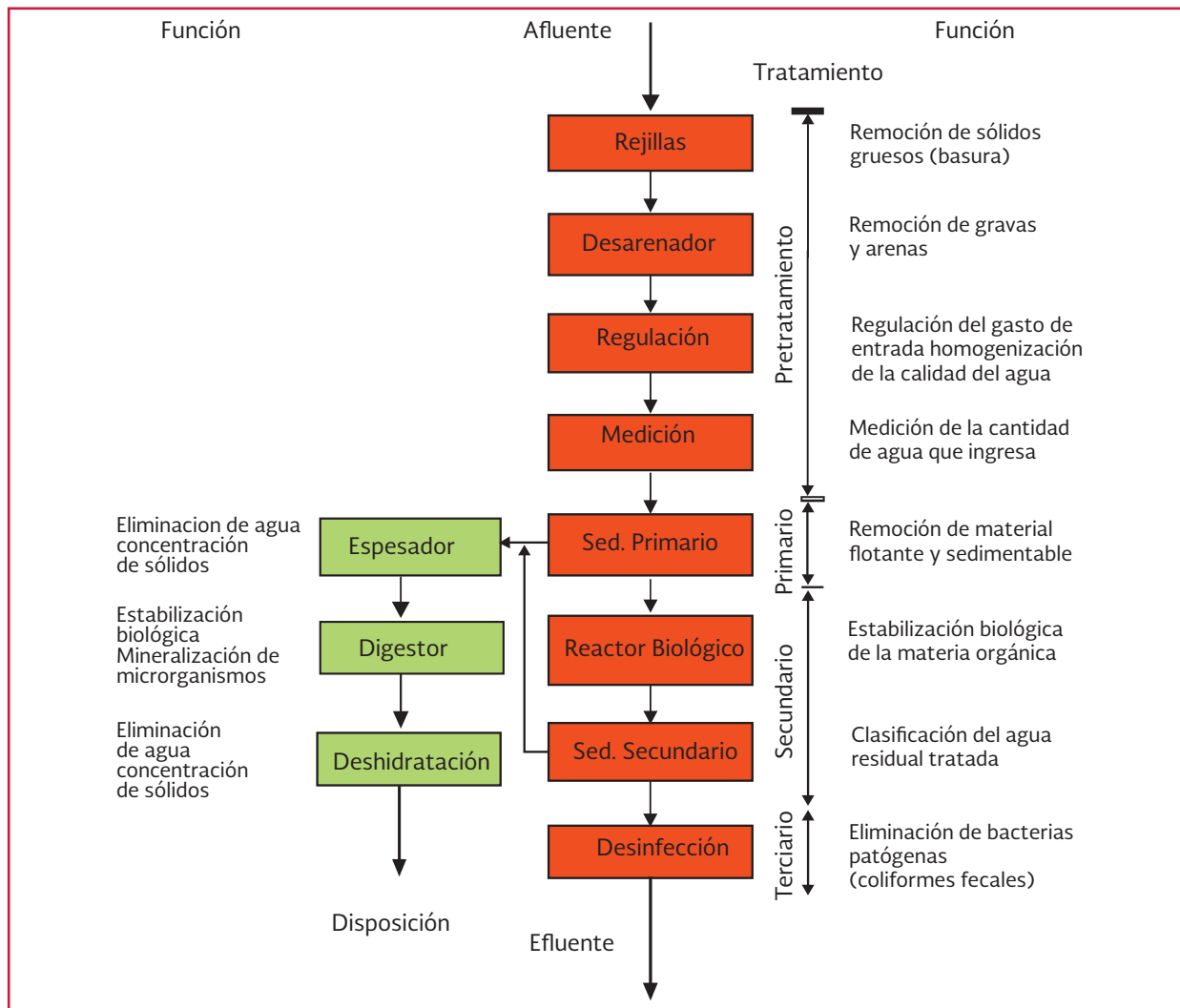


Ilustración A.5 Planta de tratamiento de lodos activados



- Fuente de aireación que permita transferir el oxígeno y proporcione la mezcla que requiere el sistema. La fuente puede ser un soplador con difusores, aireación mecánica o a través de la inyección o de oxígeno puro
- Sedimentador (uno o varios) para separar los sólidos biológicos (lodos activados) del agua tratada
- Un mecanismo para recolectar los sólidos biológicos del sedimentador y recircular la mayor parte de ellos al tanque de aireación, en lo que se conoce como recirculación de lodos activados
- Un mecanismo para desechar el exceso de sólidos biológicos del sistema, lo que se conoce como purga de lodos
- Una unidad de desinfección, para eliminar microorganismos que pueden ocasionar un efecto negativo a la salud humana
- En el tratamiento de lodos, una unidad de espesamiento que permita manejar un lodo más concentrado
- Un digestor de lodos que permita estabilizar la materia orgánica, de tal manera que la concentración de sólidos volátiles en el lodo disminuya

Ilustración A.6 Diagrama de una planta de tratamiento de lodos activados



- Una unidad de deshidratación que permita eliminar agua libre de los lodos, para que el volumen del mismo se reduzca y su manejo y transporte y/o disposición se facilite

En una planta municipal típica, un proceso de lodos activados bien diseñado y operado puede alcanzar efluentes con 20 mg/L de DBO y 20 mg/L de sólidos suspendidos totales, y en el mejor de los casos, se pueden obtener eficiencias hasta de 10 mg/L de DBO y 15 mg/L de sólidos suspendidos totales. Para alcanzar valores menores a estos últimos, se requiere tratamiento avanzado.

El proceso de lodos activados puede convertir casi toda la materia orgánica del afluente en sólidos. Dichos sólidos al ser removidos producen un efluente de alta calidad. Desafortunadamente la sedimentación de partículas floculentas es una operación difícil de realizar, por lo que se requiere un control operacional cuidadoso del sistema.

Dentro de las variantes presentadas al proceso de lodos activados, las más utilizadas en México son los sistemas de aireación extendida en las modalidades de mezcla completa y de zanjas de oxidación.

A.3. VARIANTES DEL PROCESO

A.3.1. FLUJO PISTÓN

El agua a tratar y el lodo activado recirculado entran en el tanque de aireación y se mezclan con aire disuelto o con agitadores mecánicos. El suministro del aire suele ser uniforme a lo largo de toda la longitud del reactor. Durante el período de aireación, se produce la adsorción, floculación y oxidación de la materia orgánica. Sin embargo, el crecimiento de los microorganismos puede variar, esto es debido a que la relación alimento/microorganismos, es más alta al inicio del proceso y disminuye conforme el agua avanza a lo largo del reactor.

Generalmente, los periodos o los tiempos de retención hidráulica varían entre 4 a 8 horas, pero si el gasto de agua residual disminuye, los microor-

ganismos pueden entrar en una fase endógena antes de que sean recirculados. Un diagrama de este proceso se presenta en la Ilustración A.7 y en la Ilustración A.8 una planta en operación.

Este proceso puede generar efluentes con DBO menores a 20 mg/L y es recomendable para gastos mayores a 5 L/s (Romero R. 2005).

A.3.2. AIREACIÓN DECRECIENTE

En tanques de aireación largos y angostos (relación largo/ancho mayor de 8) se presenta un flujo tipo pistón con una demanda mayor de oxígeno a la entrada, disminuyendo hasta la salida. La cantidad total de aire se obtiene como en un proceso de lodos activados convencional, pero su distribución se hace decrecer a lo largo del tanque colocando menos difusores o aireadores (ver Ilustración A.9).

Ilustración A.7 Sistema de lodos activados flujo pistón

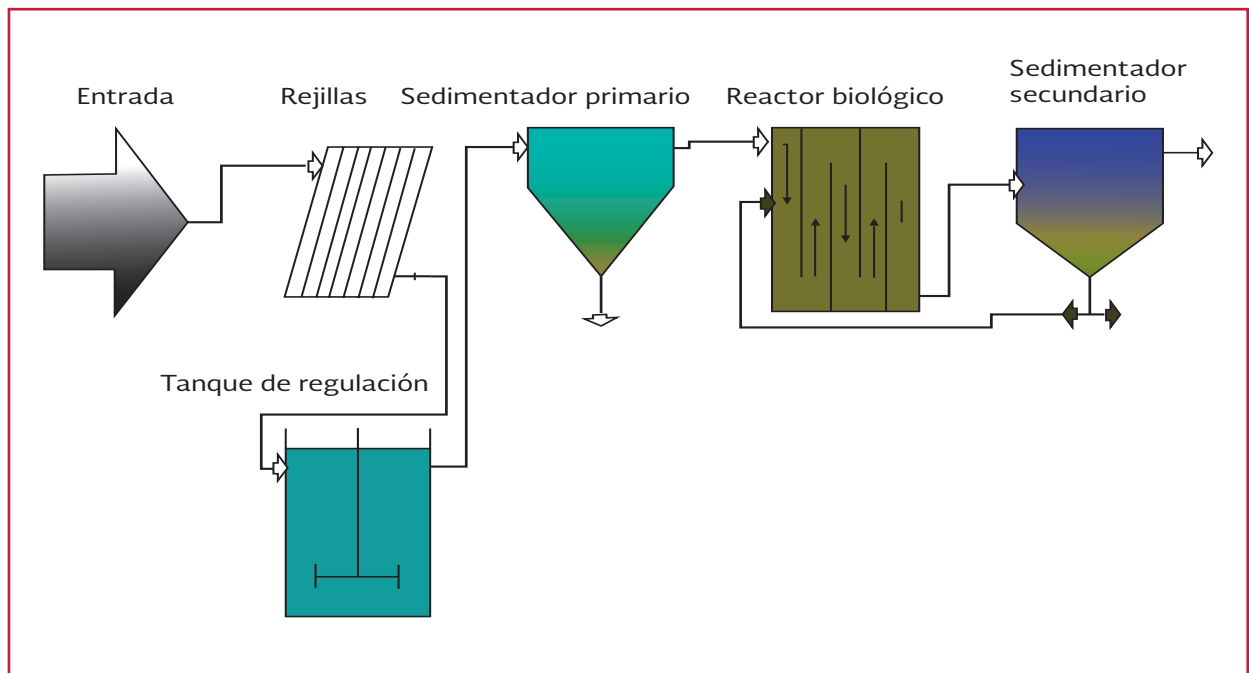
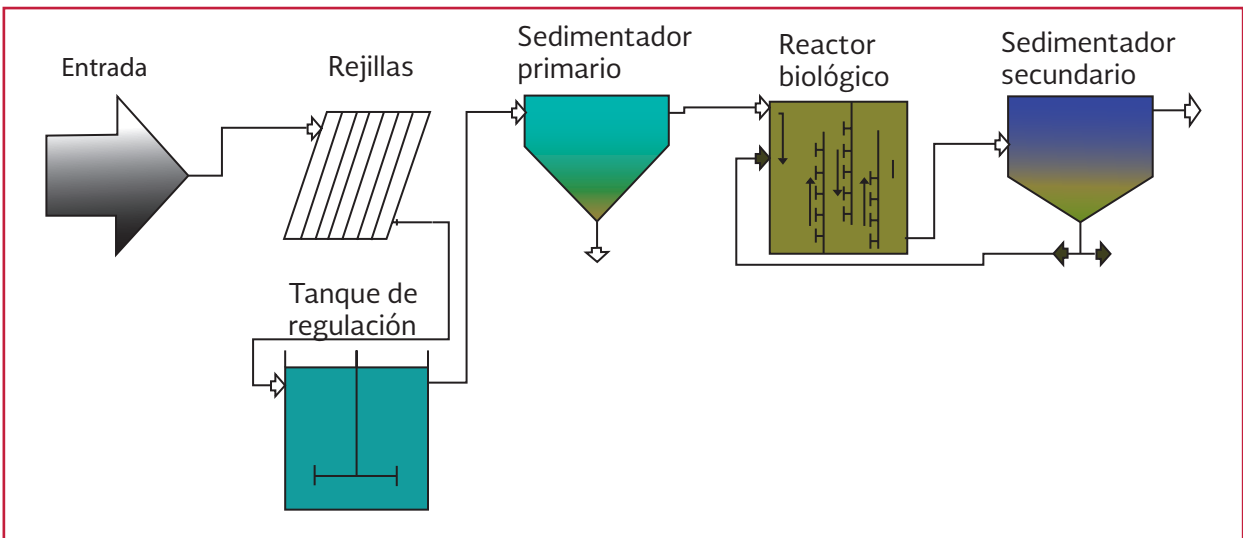


Ilustración A.8 Planta de flujo pistón Alto Urola, España (Grupo Pridesa)



Ilustración A.9 Sistema de aireación decreciente



A.3.3. MEZCLA COMPLETA CONVENCIONAL

Esta modificación consiste en uniformizar la aireación y la entrada del licor mezclado en el tanque de

aireación y extraer los lodos de una forma igualitaria a lo largo del tanque. Con este sistema se logra que la demanda de oxígeno permanezca constante en todos los lugares del tanque de aireación siendo más eficiente la utilización del aire suministrado.

Debido a que en las poblaciones existen diferencias horarias de generación de agua residual, el flujo de agua de entrada y de materia orgánica también varía, así este proceso, minimiza los desequilibrios de la relación alimento/microorganismos, al minimizar también el crecimiento de microorganismos que puede ser causado por dichas variaciones (ver Ilustración A.10).

Es un proceso relativamente fácil de operar, pero tiende a tener concentraciones de sustrato bajo por lo que puede causar problemas de abultamiento.

A.3.4. AIREACIÓN EXTENDIDA

Esta modificación consiste en aumentar el tiempo de retención hidráulica en el sistema de 18 a 36 horas en lugar de 6 a 8 horas que emplea el proceso convencional.

Este periodo de aireación permite que el lodo sea parcialmente digerido dentro del tanque de aireación, esto es, los microorganismos están en

una fase endógena y para lograrlo se requiere de una relación alimento/microorganismos baja (ver Ilustración A.11).

Este proceso teóricamente puede no generar lodo al entrar los microorganismos en fase endógena, pero no es recomendable, debido a que la población microbiana puede hacerse vieja disminuyendo la eficiencia del proceso y repercutiendo en la calidad de agua de salida. Por lo que se recomienda realizar pequeñas purgas para favorecer la generación de microorganismos jóvenes y así mantener una población saludable.

A.3.5. ESTABILIZACIÓN-CONTACTO

En esta variante, el agua residual es aireada durante un tiempo de 30 a 90 minutos en un tanque llamado “de contacto” para que los microorganismos absorban los contaminantes orgánicos sin darles oportunidad de que asimilen la materia orgánica.

Ilustración A.10 Sistema de mezcla completa convencional

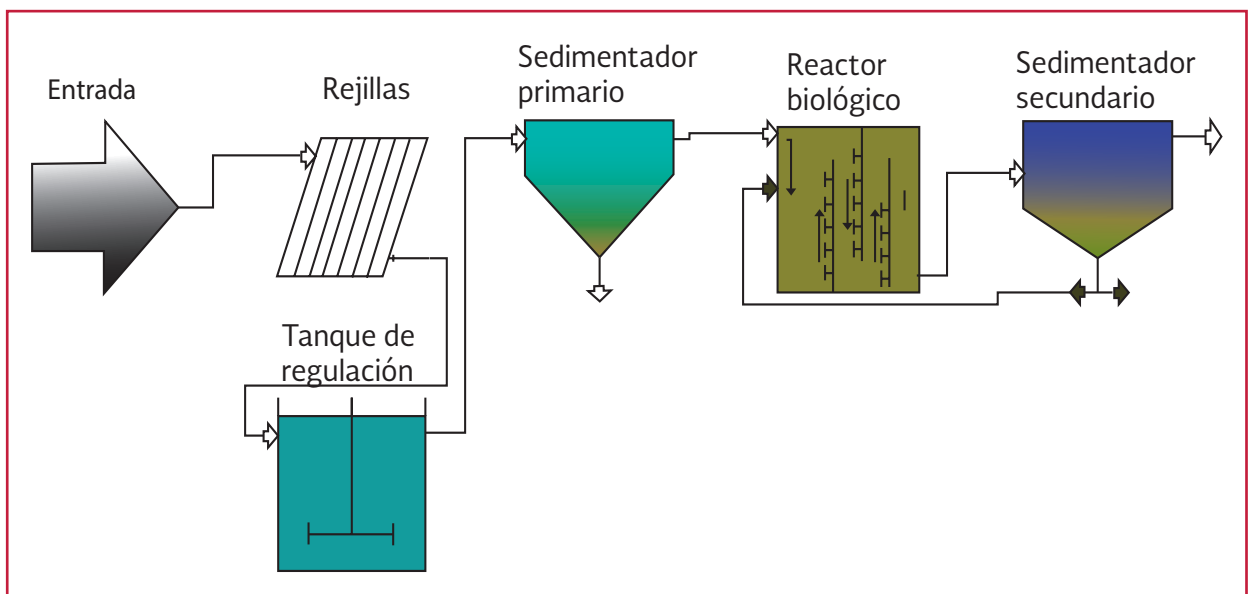
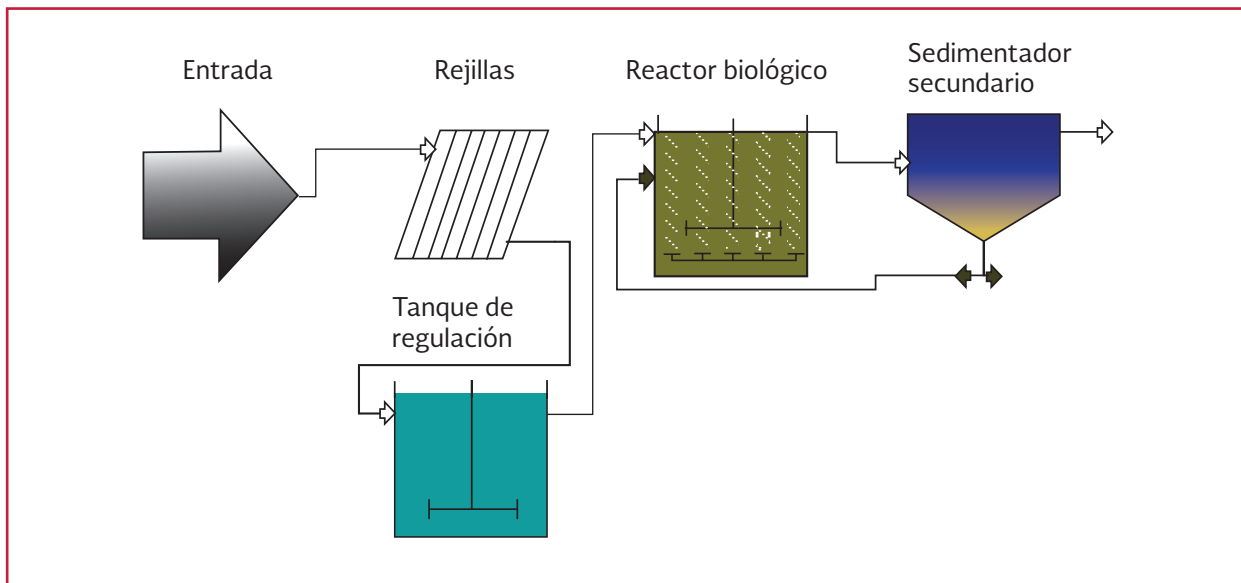


Ilustración A.11 Aireación extendida

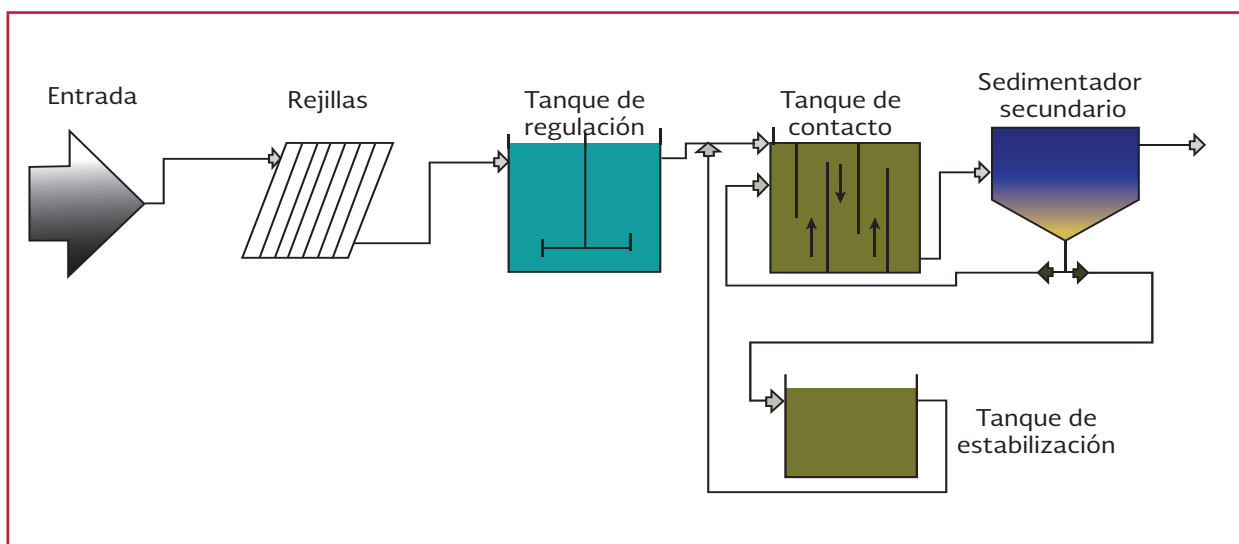


El lodo activado pasa al sedimentador secundario y es conducido a un tanque llamado “de estabilización” donde es aireado de tres a seis horas. Durante este periodo de tiempo, el material orgánico absorbido es estabilizado para producir nuevos microorganismos, que renuevan la superficie de los flocúlos. Parte del lodo recircu-

lado se desecha y el restante se envía al tanque de contacto (ver Ilustración A.12).

El proceso permite que los requerimientos de aireación sean por lo general 50 por ciento menos que en el proceso convencional. Es importante considerar que éste opera mejor

Ilustración A.12 Estabilización - contacto



con aguas residuales que contengan una carga orgánica que en su mayoría sea particulada o coloidal.

A.3.6. SISTEMA DE OXÍGENO PURO

Desde 1970, ha habido interés por los sistemas que utilizan oxígeno puro en lugar de aire, para eficientar los requerimientos de bacterias aerobias que realizan la depuración la materia orgánica. Los tanques de aireación en esta modalidad, se encuentran cubiertos y el oxígeno es recirculado a través de varias etapas que corresponden a diferentes compartimentos provistos por un agitador superficial que realiza la mezcla de agua y lodo permitiendo la inclusión del oxígeno.

El sistema permite el uso eficiente del oxígeno proporcionado con bajos requerimientos de energía.

El número de etapas depende de la concentración de carga orgánica del desecho, características del agua a tratar y calidad del efluente deseado.

El oxígeno empleado se genera en el sitio de la planta, en donde si la planta es grande el aire se licua y destila en unidades criogénicas; mientras que en plantas pequeñas la separación del oxígeno se obtiene adsorbiendo el nitrógeno del aire.

En la Ilustración A.13 se presenta un diagrama de un tanque de suministro de oxígeno puro en sistema de lodos activados con tres etapas.

Una característica de este proceso es que el contenido de oxígeno disuelto en el licor mezclado del reactor presenta concentraciones de 6 a 12 mg/L, y los contenidos de sólidos sedimentables son altos. Además, de que los volúmenes de lodo de purga y de los reactores son más pequeños.

En el estado de Nuevo León a principios de la década de 1990, se diseñó una PTAR de 5 m³/segundos. La planta fue conceptualizada bajo la modalidad Diseño/Construcción (llave en mano) que comenzó a finales de 1992 y el arranque se inició en diciembre de 1995. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Dulces Nombres”

Ilustración A.13 Tanque para un sistema de oxígeno puro en etapas múltiples

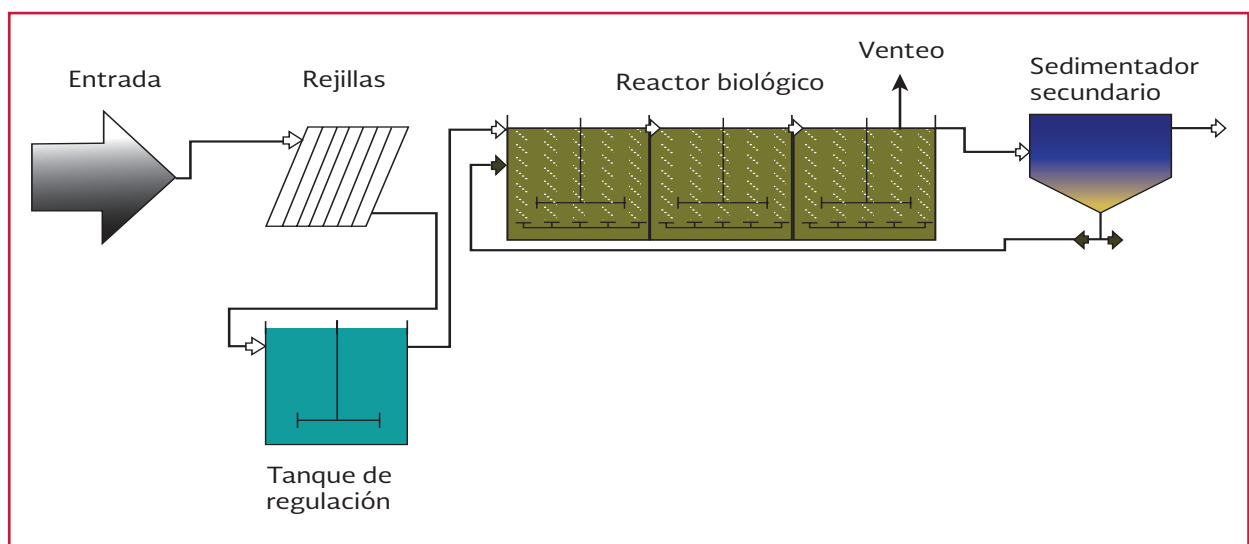


Tabla A.1 Calidad del afluente de la planta de tratamiento

Parámetro	Afluente	Efluente
DBO, mg/L	350	30
SST, mg/L	347	30
Nitrógeno Amoniacal, mg/L	14	2
Nitrógeno Orgánico, mg/L	23	5
Coliformes Totales, NMP en 100 mL		1 000

(Ilustración A.14), recibe aguas residuales con concentraciones altas de DBO y SST debido al aporte de efluentes industriales.

En la Tabla A.1 se presentan las calidades de entrada (afluente) y salida (efluente) de la planta de tratamiento.

A.3.7. PROCESO DE ALTA TASA

El proceso de lodos activados de alta tasa es una modificación en la cual se combina una carga volumétrica alta con una concentración de sólidos

suspendidos grande en el licor mezclado, tiempos de retención cortos, relación alta de alimento/microorganismos y edad de lodos reducida, con el objeto de disminuir los costos de construcción. En este tipo de plantas, para mantener una mezcla y oxigenación adecuada, es necesario usar mezcladores de turbina, además, se requiere mayor capacidad del sedimentador secundario para compensar la menor sedimentación del lodo y las tasas altas de recirculación de lodos.

A.3.8. ZANJAS DE OXIDACIÓN

Las zanjas de oxidación son una variante del proceso de lodos activados por aireación extendida. El proceso se asemeja a la autopurificación de un río que mantiene condiciones aerobias en su recorrido, con una inoculación de microorganismos (lodos activados) en el lugar de la aplicación de las aguas residuales (ver la Ilustración A.15 y la Ilustración A.16).

Ilustración A.14 Planta "Dulces Nombres"



Ilustración A.15 Zanja de oxidación aireación superficial



El proceso se basa en suministrar el oxígeno por medio de rotores o aireadores mecánicos que hacen circular el agua en un canal cerrado, ésta actividad también se puede llevar a cabo por difusores que se complementan con agitadores superficiales o sumergidos que le imprimen una velocidad horizontal al agua (licor mezclado) de 25 a 35 cm/segundo.

Con esta velocidad el agua puede dar una vuelta completa en un tiempo de 5 a 15 minutos. Otro factor importante, es que al entrar el agua residual al sistema se logra una dilución de 20 a 30 veces.

Estos sistemas presentan un arreglo de aireación que permite que la concentración de oxígeno disuelto disminuya a lo largo del canal, propiciando condiciones anóxicas y por tanto el proceso de desnitrificación. Este tipo de proceso biológico, es una modificación del proceso de lodos activados con la siguiente característica:

Consumo de energía = De 1 a 3 kg de DBO/(kW h)

Variaciones al proceso

En función de la población a servir, se recomiendan tres tipos de zanjas de oxidación:

Ilustración A.16 Zanja de oxidación aireación por difusión



- Tipo canal simple, para poblaciones hasta 1 000 habitantes
- Tipo canal doble para poblaciones entre 1 000 y 5 000 habitantes
- Tipo carrusel para poblaciones mayores de 5 000 habitantes

a) Tipo canal simple

Este tipo de zanja consiste únicamente en un canal cerrado que posee una isleta divisoria, tal como se presenta en la Ilustración A.17

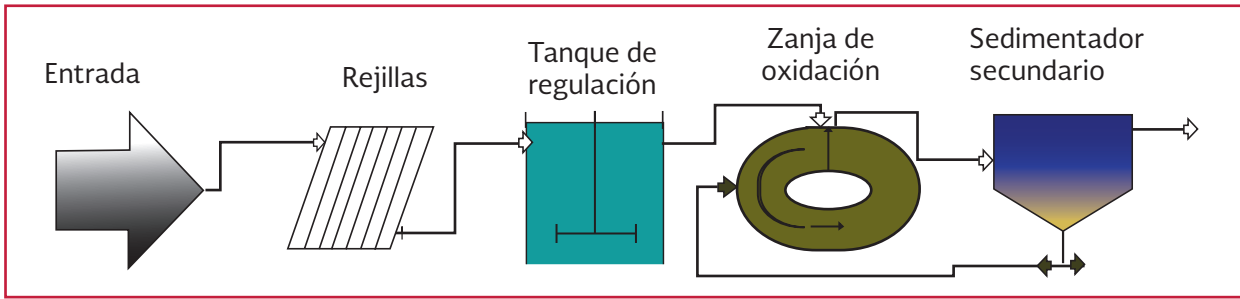
El agua se mueve por medio de rotores o aireadores de tubo, también llamados tipo “cañón” que proporcionan aireación e impiden que se sedimenten en el fondo los sólidos suspendidos volátiles del licor mezclado

Dentro de la zanja se acostumbra construir una fosa que acumule los lodos y que parcialmente los digiera para posteriormente desalojarlos

b) Tipo canal doble

Este tipo de zanja consiste en dos zanjas tipo canal simple unidas (Ilustración A.18). Al igual que en el caso anterior el agua se airea y mueve por medio de rotores o aireadores tipo cañón colocados al

Ilustración A.17 Zanja de oxidación tipo canal simple



principio de la parte recta de los canales. En función del cálculo de los lodos producidos, el canal de interconexión de las zanjas puede tener o carecer de tolva de concentración de lodos

c) Tipo carrusel

Este tipo de zanja consiste en un canal cerrado de gran desarrollo, tal como se muestra en la Ilustración A.19, el agua se mueve por medio de aireadores mecánicos del tipo “trompo” que propor-

cionan aireación e impulsan el agua para mantener en suspensión los sólidos suspendidos volátiles del licor mezclado. Los lodos se separan por medio de un sedimentador secundario y parte de los cuales se retornan a la zanja.

A.3.9. ORBAL

Este proceso es una variación de las zanjas de oxidación, que está conformado por varios canales concéntricos. El agua residual entra en el

Ilustración A.18 Zanja de oxidación tipo canal doble

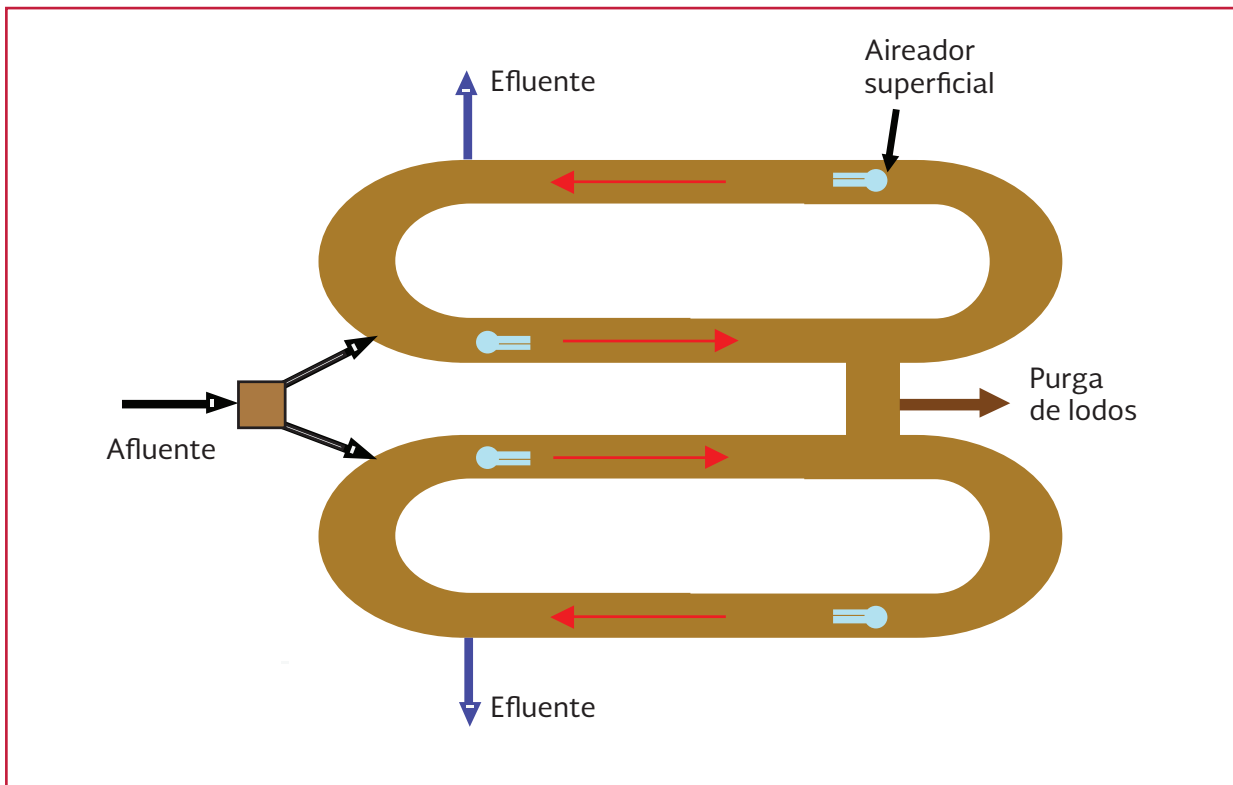
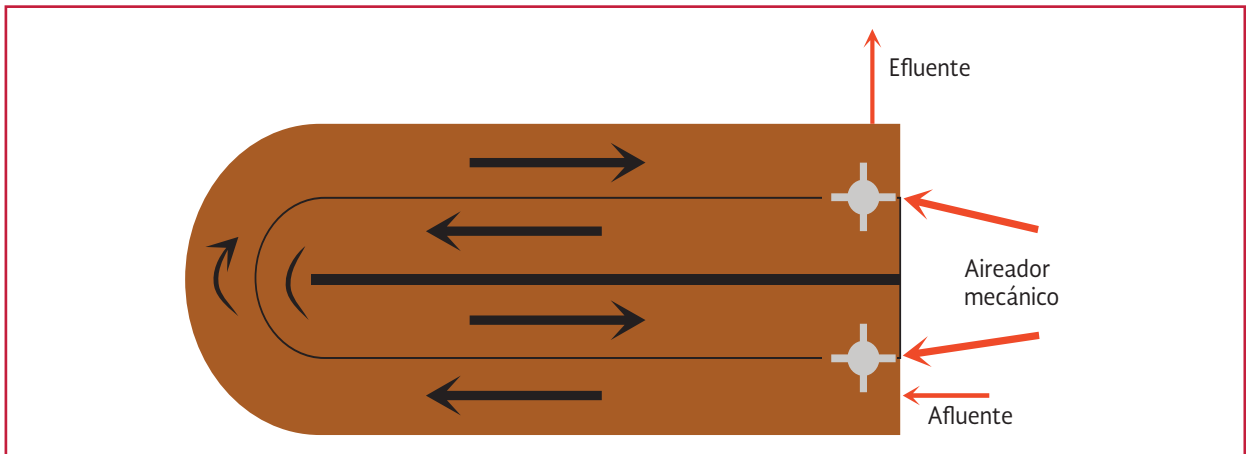


Ilustración A.19 Zanja de oxidación tipo carrusel



canal exterior y va avanzando hacia los canales subsiguientes hasta llegar al centro.

Como se presenta en la Ilustración A.20, este sistema cuenta con un canal anóxico y uno o varios con aireación, lo que le permite realizar una nitrificación y una posterior desnitrificación (Ilustración A.21). Se provee aireación a través de aireadores horizontales. La profundidad de los canales es de 4.3 m (Metcalf y Eddy, 2003).

A.3.10. PROCESO SECUENCIAL EN LOTES

Este proceso consiste en llenar y vaciar un reactor de mezcla completa, el cual contempla todas las etapas de un sistema de lodos activados convencional. Para que el sistema opere de forma continua es necesario contar con al menos dos sistemas, debido a que mientras uno se llena el otro opera. Así, como se puede observar en la

Ilustración A.20 Sistema orbal

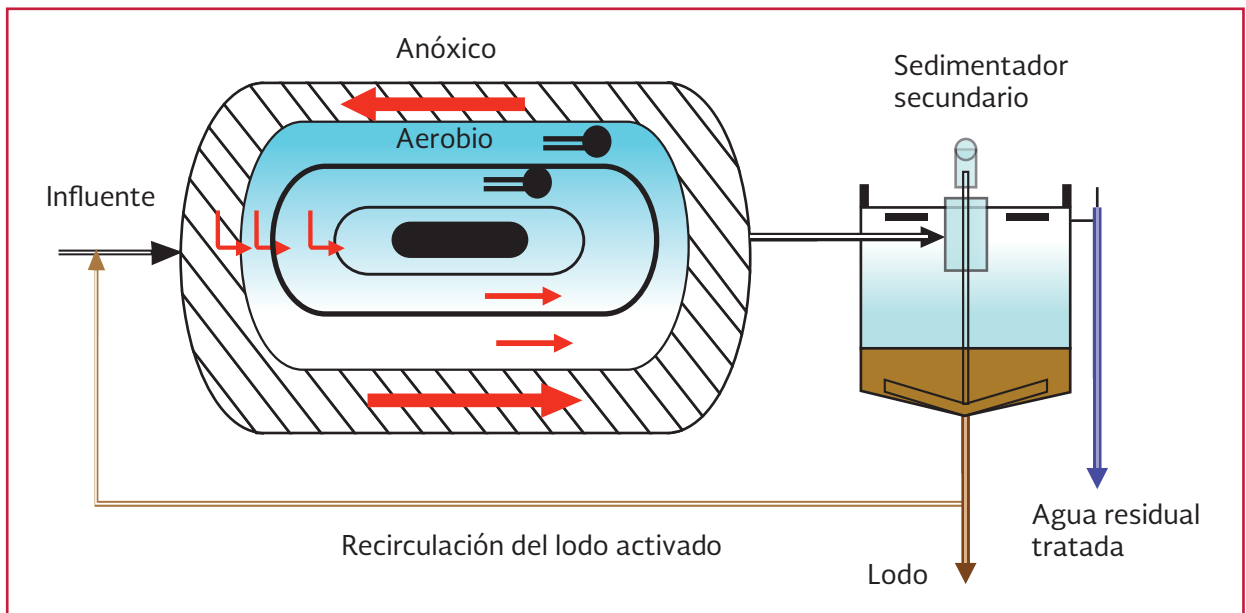


Ilustración A.21 Planta orbal Ateca, Zaragoza, España (Instituto Aragonés del Agua)



Ilustración A.22 y la Ilustración A.23, el sistema operará por ciclos compuestos por un llenado (2 a 3 h), aireación (2 a 8 h), sedimentación (0.5 a 2 h) y retiro de natas (0.5 a 1).

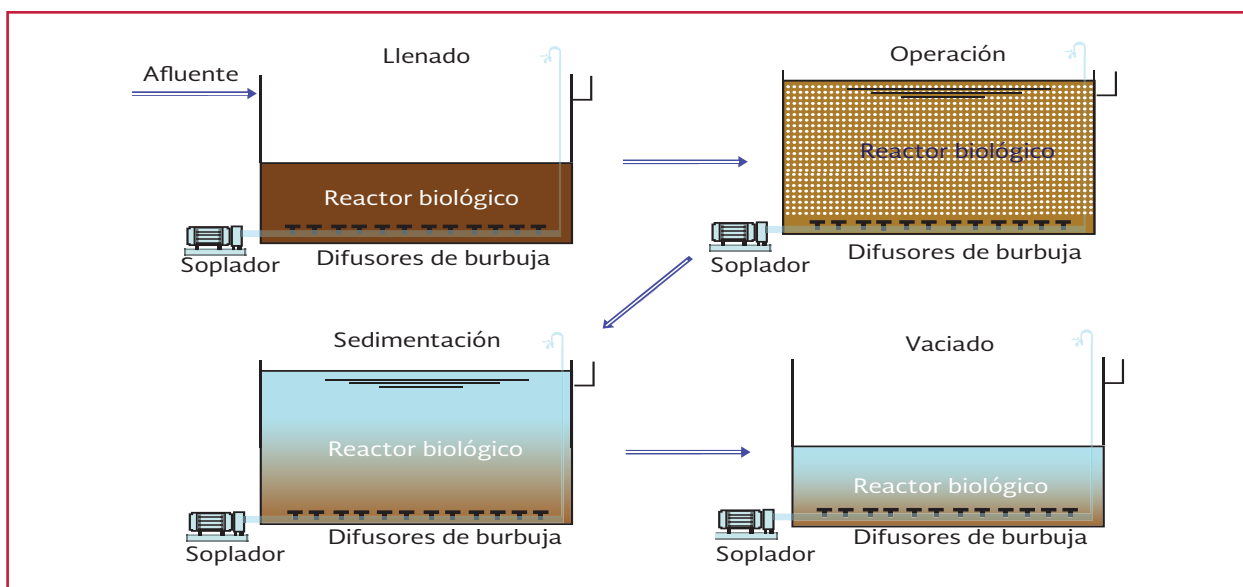
Una de las ventajas de este sistema es que todas las operaciones se realizan en un solo tanque, a menos que la concentración de SST y DBO del agua residual sea mayor a 500 mg/L, donde será necesario emplear sedimentación primaria. Sin embargo, re-

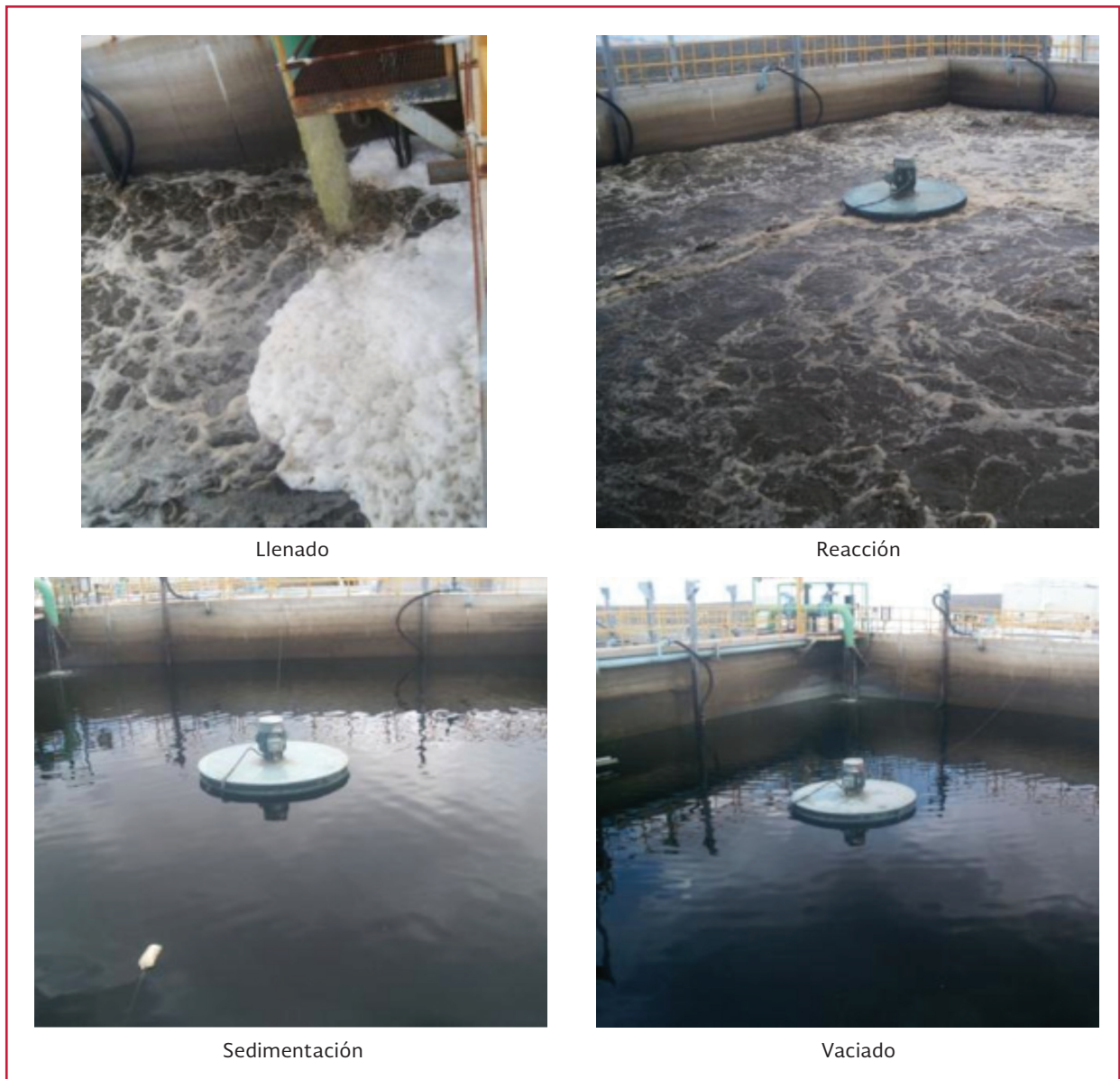
quiere de un alto grado de control (Metcalf y Eddy, 2003).

A.3.11. PROCESO LUDZACK-ETTINGER

Este concepto o proceso para la eliminación de nitrógeno fue desarrollado en 1962 por Ludzack y Ettinger al proponer una zona anóxica.

Ilustración A.22 Sistema secuencial en lotes





Este proceso consiste en alimentar el agua residual cruda a una zona anóxica la cual es seguida por una aerobia (Ilustración A.24 e Ilustración A.25).

La desnitrificación depende del nitrato formado en la zona aerobia, que es alimentado a la zona anóxica mediante el retorno o recirculación de lodos que proviene del sedimentador secundario. Lo anterior hace suponer que la desnitrificación está limitada por la relación de recircula-

ción de lodos, ya que entre más grande sea ésta más nitratos serán alimentados y probablemente eliminados.

Recientemente, el aumento de la relación de la recirculación se ha empleado para controlar o prevenir la desnitrificación en el sedimentador secundario, ya que esto provoca que el lodo se flote, originando que el agua clarificada salga con una cantidad importante de sólidos suspendidos, deteriorando su calidad. Esto permite que el lodo

Ilustración A.24 Proceso Ludzack-Ettinger

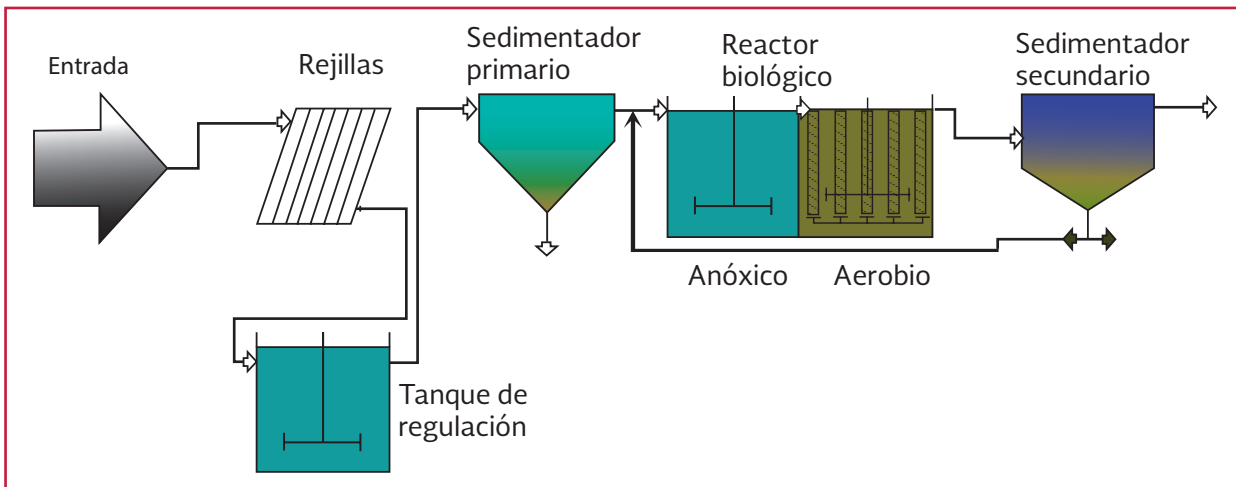


Ilustración A.25 Planta de agua municipal con proceso Ludzack-Ettinger



permanezca menor tiempo y por consecuencia los microorganismos desnitrificantes toman el oxígeno disuelto que está presente aun en el agua y no de los nitratos (Metcalf y Eddy, 2003).

A.3.12. PROCESO BARDENPHO®

Las zonas pre y posanóxicas son las que distinguen al proceso Bardenpho®, el cual fue desa-

rollado y aplicado a escala real en el país de Suráfrica a mediados de los 70's y después en 1978, migró hacia los Estados Unidos.

El nombre de este proceso se basa en las tres primeras letras del nombre del inventor Barnard, de las tres de desnitrificación y tres de phosphorus. En la Ilustración A.26 se presenta un esquema de cómo está constituido este proceso.

El tiempo de retención hidráulica en la zona de posanoxia puede ser igual o más grande que el de la preanóxica. Con este proceso los nitratos

en el efluente pueden estar por debajo de los 3 mg/L (Metcalf y Eddy, 2003).

A.4. PARÁMETROS DE OPERACIÓN PARA PROCESOS DE LODOS ACTIVADOS

A continuación se presenta en la Tabla A.1 una recopilación de los principales parámetros de diseño reportados en la literatura, esto con la finalidad de poder presentar una guía y establecer una comparación con los parámetros de diseño de las plantas de tratamiento.

Ilustración A.26 Proceso Bardenpho

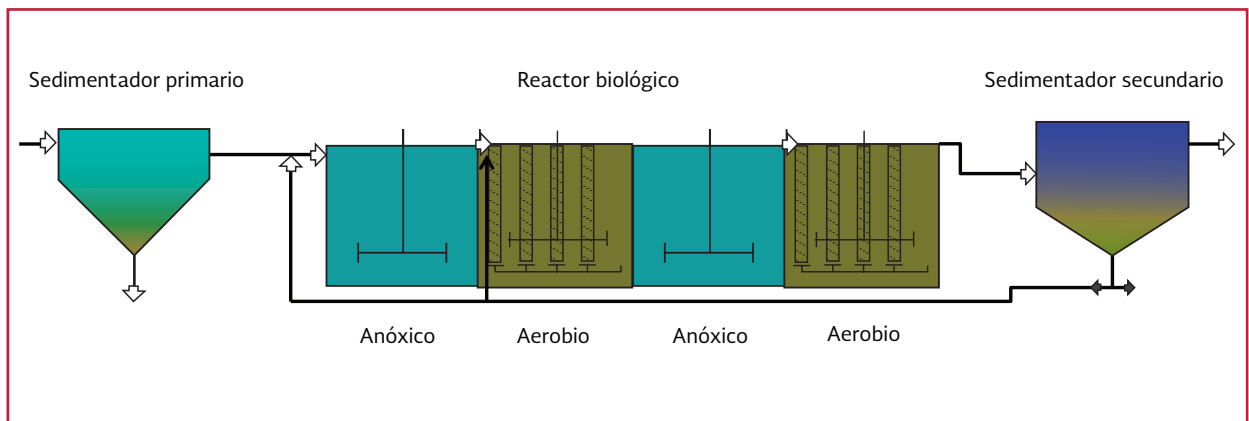


Tabla A.2 Parámetros de diseño para procesos de lodos activados

Proceso	θ_c (d)	T_R (h)	Kg DBO/ (kg SSVLM d)	SSVLM mg/L	Q_r/Q	Reducción DBO %
Flujo pistón	5-15	4-8	0.2-0.4	1 000-3 000	0.25-0.75	85-95
Aireación decreciente	5-15	3-5	0.2-0.4	2 000-3 500	0.25-0.75	85-95
Mezcla completa convencional	5-15	4-8	0.2-0.6	1 500-3 000	0.25-1.0	85-95
Aireación extendida	20-30	18-36	0.05-0.15	3 000-6 000	0.5-1.5	75-95
Contacto estabilización	5-15	0.5-1 ^a 3-6 ^b	0.2-0.6	1 000-3 000 ^a 4 000-10 000 ^b	0.25-1	80-90
Oxígeno puro	8-20	1-3	0.25-1	3 000-8 000	0.25-0.5	85-95
Aireación de alta carga	0.5-2	1.5-3	1.5-2	200-1000	1-1.5	70-90
Zanja de oxidación	15-30	15-30	0.04-0.1	3 000-5 000	0.75-1.5	75-95
Proceso secuencial en lotes	10-30	15-40	0.04-0.1	2 000-5 000	N/A	75-95

Nota: ^a Tanque de contacto; ^b Tanque de estabilización; θ_c = Tiempo de residencia celular; T_R = Tiempo de residencia hidráulico



B

INFORMACIÓN BÁSICA DEL SISTEMA DE LADOS ACTIVADOS

B.1. MICROBIOLOGÍA DE LADOS ACTIVADOS

Con excepción de ciertos desechos industriales y de servicios, las aguas residuales son un medio de cultivo ideal para el crecimiento de un gran número de microorganismos, los cuales juegan un papel importante en todas las etapas del tratamiento biológico de las aguas residuales.

Ningún organismo simple es capaz de utilizar la amplia variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos encontrados en las aguas residuales; consecuentemente, se desarrollará un ecosistema que se alimenta directamente con el agua residual que entra al proceso, y con la predación de organismos que se reproducen en el sistema.

La composición exacta de esta comunidad depende del resultado de la competencia por el alimento, limitado o variado. Por la influencia de factores ambientales, tales como el pH y la temperatura.

El propósito del diseño y operación de una planta de tratamiento de aguas residuales por lodos activados es crear condiciones favorables, de tal manera que los microorganismos proliferen y efectúen el proceso de tratamiento. Los organismos vivos fueron clasificados originalmente en dos

reinos: plantas y animales; esta clasificación tan simple no podía sostenerse.

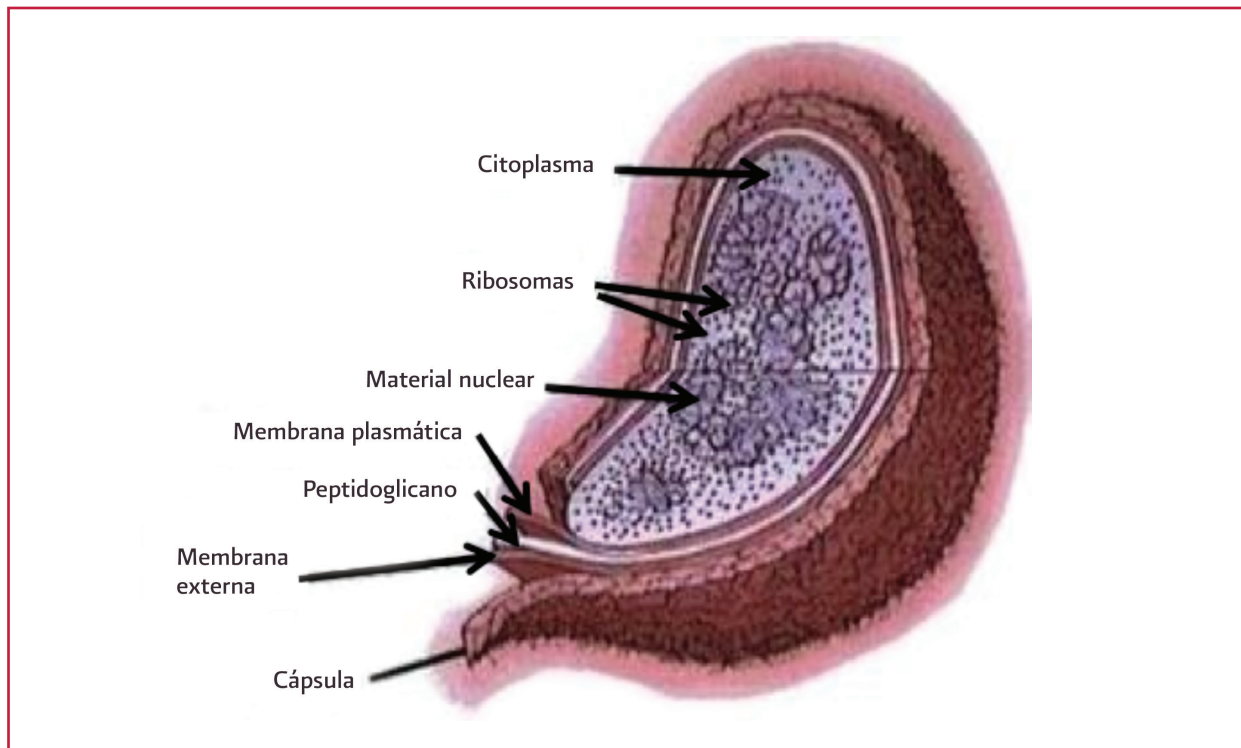
Los microorganismos incluyen ciertos grupos que tienen propiedades como las plantas (algas) y algunos como los animales (protozoarios) y algunos más con otras características (hongos). De esta manera, se reconoció otro reino, el Protista, el cual no cae naturalmente en ninguno de los reinos mencionados; este es el de mayor interés para la ingeniería sanitaria, ya que contiene a las bacterias, protozoarios y algas que son los microorganismos más importantes involucrados en el tratamiento de las aguas residuales.

La clasificación de Whittaker, divide a los seres vivos en cinco reinos: Monera, Protista, Hongos, Vegetales y Animales; se basa en la complejidad celular y la forma de nutrición.

En este capítulo interesa la célula bacteriana, ésta contiene sólo citoplasma, limitado por una membrana semipermeable llamada citoplasma, cubierto por una pared celular porosa (Ilustración B.1).

El citoplasma contiene el material nuclear. Además no existen membranas internas que aislen estructuras organizadas. Los organismos que poseen estas características son conocidos como procarióticos.

Ilustración B.1 Típica célula bacteriana



B.1.1. TIPOS DE MICROORGANISMOS

Virus

Los virus no intervienen en los procesos de tratamiento, su importancia es solamente sanitaria.

Los Enterovirus son encontrados comúnmente en los afluentes y efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Dentro de los virus que causan enfermedades y pueden ser transmitidos por el agua están los siguientes:

El poliovirus es asociado con la poliomielitis y afecta el sistema nervioso central; es uno de los virus más estables y puede ser capaz de causar enfermedad por relativamente largos periodos en agua y alimento contaminados. La principal forma de transmisión es la ingestión de agua contaminada; las moscas son mecanismos vec-

tores de esta enfermedad. La vacuna contra este virus ha reducido la incidencia de la poliomielitis y el reporte de casos ha disminuido. Las epidemias ocurren solo en sectores de población donde no se ha aplicado la inmunización.

El virus causante del resfriado común, meningitis aséptica y conjuntivitis es el Coxsackie A, mientras que el Coxsackie B provoca diferentes enfermedades, incluyendo algunas del corazón. El principal modo de transmisión es la inhalación e ingestión de fuentes contaminadas.

El adenovirus se asocia con enfermedades del tracto respiratorio y conjuntivitis. Los virus de este tipo que han podido ser aislados de las aguas residuales y lodos, son causantes de fiebre relacionada con enfermedades de la faringe y ojos (conjuntivitis). Los adenovirus entéricos causan diarrea aguda y son asociados a excreciones fecales de infantes con gastroenteritis viral.

El causante común de gastroenteritis aguda viral, en todos los grupos de edades, normalmente es el Rotavirus. Las epidemias de estas enfermedades han sido asociadas con fuentes de agua contaminada: En agua cruda y en los efluentes de agua clorada de plantas de tratamiento de lodos activados se han encontrado altas concentraciones de este virus.

El agente causal de la hepatitis infecciosa es el virus de Hepatitis A; enfermedad sistémica que afecta al hígado; se transmite en forma oral a través de aguas residuales contaminadas y posee la habilidad de sobrevivir a bajos niveles de cloro residual. Las epidemias han surgido de abastecimientos municipales contaminados.

El personal de plantas de tratamiento de aguas residuales tiene una incidencia alta de exposición a este virus debido a su contacto diario con aguas residuales.

Bacterias

Las bacterias son el mayor componente de la comunidad microbiana en todos los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales. Normalmente se encuentran valores de 10^6 bacterias/ml o mayores en aguas crudas. Debido a su gran número y tamaño pequeño, se han desarrollado técnicas especializadas que permiten estudiar estos organismos en su hábitat natural, para inferir información que pueda ser utilizada por los ingenieros involucrados en el diseño y operación de plantas.

Debido al tamaño de las bacterias, entre 0.2 y $1.5 \mu\text{m}$, su identificación es imposible por medios visuales simples. Utilizando un microscopio de alta resolución es factible observar sus diferentes formas y tamaños, así como utilizar

técnicas específicas para la observación de sus finos apéndices y algunos organelos internos. Este hecho facilita reconocer la morfología de las bacterias, siendo un paso importante en la identificación bacteriana.

Las bacterias se limitan a cuatro formas básicas: de esfera, bastón recto, bastón curvo, espiral y algunas formas filamentosas.

Las bacterias esféricas son conocidas como cocos y sus diámetros son de 0.2 a $4 \mu\text{m}$ por su modo de división. Los cocos pueden ser agrupados de acuerdo con su arreglo espacial, el cual se determina por sumado de división. El coco se divide por fisión; cuando la bacteria se incrementa en tamaño, se contrae y finalmente se parte en dos.

Si un organismo no se parte en dos después de la fisión y permanece como un par, se conoce como diplococo. Si se continúa dividiendo a lo largo del mismo plano sin separarse formando una cadena toma el nombre de estreptococo; un indicador bacterial estreptococo fecal es de este tipo. Finalmente, si la división toma lugar en tres dimensiones, formando un cubo de ocho cocos se le conoce como sarcina.

Los bastones rectos representan la morfología más común de las bacterias tanto en el ambiente natural como en las aguas residuales de plantas de tratamiento. Esto incluye muchas de las bacterias encontradas comúnmente, tales como las *Pseudomonas*, *Zooglea*, *Escherichia* y *Salmonella*.

Los bastones curvos forman una simple curva parecida a la letra C; son conocidos como Vibriones; en este grupo se incluyen la bacteria causante del cólera, el *Vibrio cholera* y un organismo capaz de reducir sulfatos a sulfuros, conocido como *Desulfovibrio*.

De tornillo o espiral conocidas como Spirillum. Estas bacterias se observan casi exclusivamente en muestras de agua y rutinariamente en muestras tomadas de digestores anaerobios.

Para hacer que las bacterias sean visibles bajo la luz del microscopio, se emplea una variedad de técnicas de teñido para colorear la bacteria por entero la estructura interna o la externa. Una de estas técnicas fue desarrollada por Christian Gram en 1884. Después de teñir una población mezclada de bacterias y examinarlas bajo el microscopio, las bacterias que aparecen moradas se llaman Gram positivos y las que aparecen rojas Gram negativos.

Un flagelo es una estructura en forma de látigo que sirve de medio de locomoción o movilidad a las bacterias. La presencia o ausencia de flagelo, el número y la distribución espacial alrededor de la bacteria son característicos de la especie. La mayoría de las bacterias flageladas son de forma de bastón; se distinguen tres formas de flagelo, un simple, situado en uno o en ambos extremos de la bacteria, un copete de flagelos en uno o en ambos extremos y un gran número de ellos alrededor de toda la bacteria.

Además del flagelo, muchas bacterias Gram negativas tienen una fina cubierta de pelos conos que pueden observarse en el microscopio electrónico. Estos pelos, menores de 1 μm de largo y 0.01 μm de diámetro, son conocidos como fibrinas o pili. Este pelo confiere a la bacteria la habilidad de adherirse una con otra, siendo muy importante para la formación de lodo activado floculante.

Algunas bacterias están rodeadas de una cubierta denominada material extracelular o cápsula, predominantemente compuesta por polisacári-

dos. La presencia de bacterias con esta característica es importante en el proceso de lodos activados; este material polisacárido se involucra en el mecanismo de floculación del proceso. El polisacárido actúa como una red que envuelve a otros microorganismos.

Este tipo de bacterias tienen ventajas de sobrevivencia, como es la resistencia a la desecación y al ataque de bacteriófagos. También en periodos de depredación, son capaces de degradar su propio material. Tales ventajas son utilizadas en los sistemas de tratamiento de aguas, donde las condiciones de depredación de nutrientes son comunes por ejemplo, en el sedimentador secundario del proceso de lodos activados.

Las bacterias poseen algunas estructuras intracelulares, que sirven de indicador de su estado nutricional, dando información de la composición del afluente a la planta o de condiciones de operación de la misma. La estructura intracelular comúnmente encontrada en bacterias de aguas residuales está compuesta de material de reserva.

Como resultado de cambios en las condiciones ambientales, tales como depredación de nutrientes (carbono, nitrógeno y fósforo principalmente) o desecación, muchas bacterias son capaces de iniciar cambios fisiológicos y morfológicos formando estructuras en estado latente. Una de estas estructuras es conocida como espora y es una adaptación para sobrevivir por tiempos prolongados bajo condiciones adversas como calor, congelamiento, tóxicos químicos y radiaciones.

Las esporas se forman en el centro o en un extremo de la bacteria y son altamente retráctiles, generalmente tiñen con dificultad, por lo que requieren tintes poderosos. La célula madre donde

se origina la espora, conocida como esporangio, desaparece una vez que se forma la espora; las preparaciones de teñido muestran diferentes etapas del proceso de esporulación.

Otra estructura latente similar a la espora es el quiste; la diferencia radica en que la bacteria se envuelve a sí misma con una capa protectora.

Protozoarios

Los protozoarios son organismos eucarióticos, con amplia variedad en forma y modo de vida. Generalmente son unicelulares, móviles y se clasifican de acuerdo con su morfología, particularmente por su modo de locomoción. Muchos protozoarios requieren de un huésped para poder vivir y completar su ciclo de vida. No todos los protozoarios se asocian con procesos de tratamiento de aguas residuales. Debido a su gran tamaño, los protozoarios se identifican fácilmente por observación en un microscopio con luz.

Se definen tres grupos importantes en lo que se refiere a procesos de tratamiento de aguas residuales.

- Flagelados
- Sarcodina
- Ciliados

a) Protozoarios flagelados

Poseen uno o más flagelos, que son utilizados para locomoción y alimentación

b) Sarcodina

Posee pseudópodos que utiliza para moverse y para alimentarse por medio de flujo protoplasmático. Tienen una gran diversidad: algunas carecen de estructura esquelética (amibas), mientras que

otras han desarrollado conchas formadas con materiales de proteínas, sílice y carbonato de calcio

c) Ciliados

Son los mayores en términos de número de especies con más de 7000. Por esto dan gran diversidad a los lodos activados. Se caracterizan por los cilios que aparecen sobre la superficie de la célula que les sirven de locomoción. Además, los cilios se distribuyen el alimento alrededor de lo equivalente a una boca llamada citosoma. De este modo se autoayuda formando corrientes con los flagelos para introducir el alimento por el citosoma. Se dividen en cuatro grandes grupos:

- Ciliados libres (ciliados uniformes de nado libre)
- Ciliados reptantes (cuerpo aplanado, cilios locomotores)
- Ciliados fijos (ciliados fijos en forma de campana)
- Suctoria (ciliados a temprana edad)

Los primeros se refieren a protozoarios de nado libre, los cuales poseen cilios uniformes en sus cuerpos (paramecium) Los segundos tienen un cuerpo aplanado con cilios locomotores encontrados por debajo del cuerpo; el cilio también les sirve para alimentarse, provocando corrientes hacia el citosoma

El tercer grupo se reconoce inmediatamente por su cuerpo en forma de campana invertida que está montado en un tallo. El otro extremo del tallo se fija a un material particulado, tal como un floculo de lodos, y sirve para anclar al protozoario.

En ciertas especies este tallo es contráctil. El amplio final de la campana sirve como una apertura oral donde se tienen cilios que ayudan a atrapar alimento. Los ejemplos típicos de este grupo son el Vorticella y el Opercularia, ampliamente conocidos en el proceso de lodos activados

Finalmente el cuarto grupo se refiere a protozoarios que solo son ciliados a temprana edad donde los cilios sirven para dispersarse de sus congéneres. Poco después se pierden los cilios y se desarrollan un tallo y tentáculos para alimentarse

El tallo no es contráctil y atrapa materia particulada, mientras que los tentáculos son capaces de capturar el alimento, desmenuzándolo y succionándolo para formar vacuolas. De la Ilustración B.2

a la Ilustración B.5 se muestran protozoarios y en la Ilustración B.6 una forma de alimentación.

Rotíferos

Realizan importantes funciones benéficas en la estabilización de desechos orgánicos. Estimulan la actividad y descomposición de la microflora ayudan a la penetración de oxígeno y a la recirculación de nutrientes minerales. Son diferentes a los protozoarios; se encuentran, pocas veces en gran número en procesos de tratamiento de agua. Solamente en sistemas de aireación extendida son la forma animal predominante.

Los rotíferos usan mayores cantidades de flóculos de lodos activados que los protozoarios y pueden sobrevivir aun después de que las bacterias de nado libre han sido depredadas por los protozoarios.

Ilustración B.2 Principales formas de protozoarios en procesos de tratamiento de aguas residuales



Ilustración B.3 Ciliados comunes en procesos aerobios de tratamiento

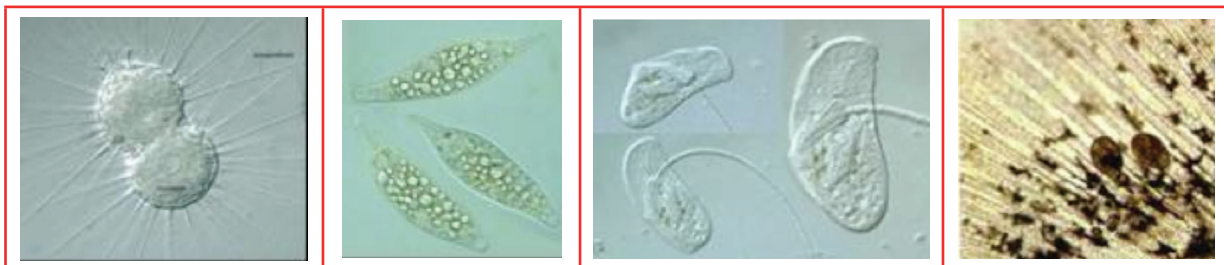


Ilustración B.4 Ciliados "peritrichia" en procesos aerobios de tratamiento

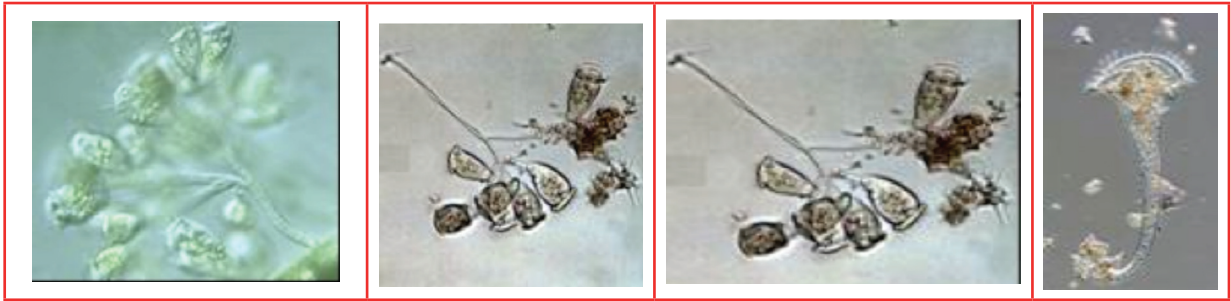
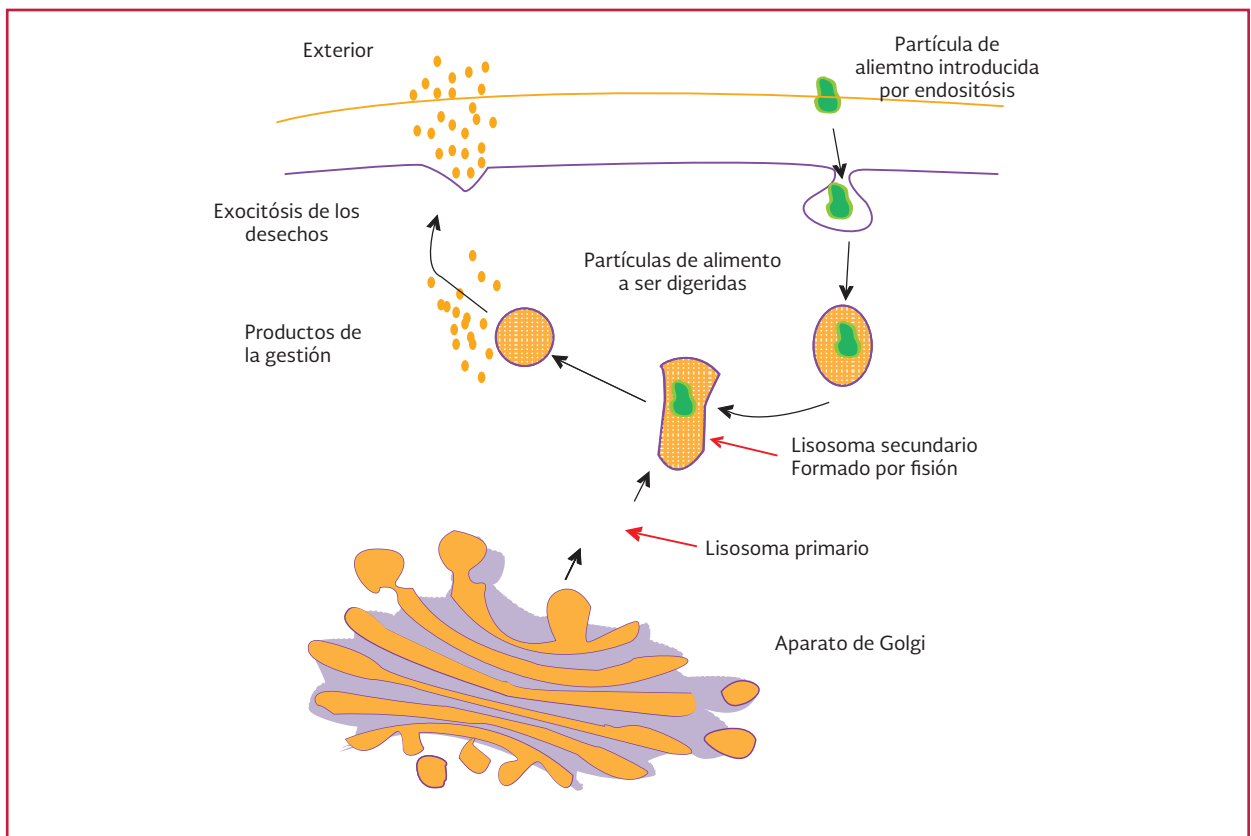


Ilustración B.5 Ciliados Vorticella y Suctoría



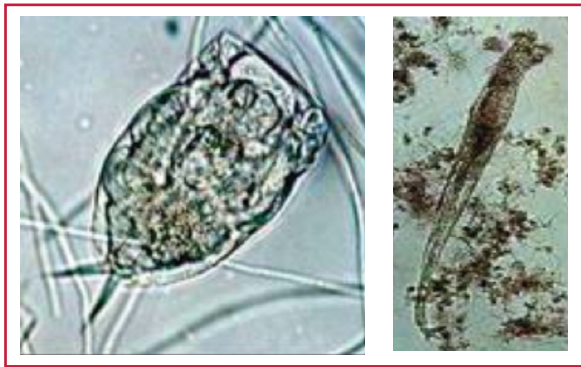
Se encuentran en todos los hábitats acuáticos y son la forma más simple y más pequeña de los macro invertebrados. Son un pequeño grupo de organismos con cerca de 2000 especies identificadas. La vibración de sus cilios semeja ruedas que giran, de ahí su nombre, rotíferos. Se dividen en dos clases; los que poseen una gónada son monogónadas, y los que tienen dos digónadas (Ilus-

Ilustración B.6 Alimentación de protozoarios (fagocitosis)



tración B.7); su tamaño varía de 40 a 500 μm ; su vida promedio es de 6 a 45 días.

Ilustración B.7 Rotíferos típicos monogónada y digónada



La mayor parte de los rotíferos son incoloros aunque cuando ingieren alimento dan la impresión de tener color. Poseen tres distintas regiones del cuerpo: la cabeza, el tronco y los pies.

Algunos rotíferos se alimentan de bacterias, detritus y protozoarios; otros de fitoplancton o algas. Las variaciones en concentración y características del agua cruda se reflejan en el número y tipo de rotíferos en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

La mayoría de los digónadas nadan por la acción de las corrientes creadas por los cilios; los miembros más antiguos se desplazan lentamente, esto es observado frecuentemente en sistemas de lodos activados. En este proceso, consumen grandes cantidades de bacterias, ayudando a esta población a mantenerse saludable y activa. Además, ayudan a disminuir la turbidez del efluente al alimentarse de bacterias que no forman flóculos.

Los rotíferos ayudan a la formación de flóculos, mediante su forma de alimentarse, pues dejan

huecos por donde puede existir mejor transferencia de oxígeno; además en procesos aerobios, el gran consumo de bacterias y sólidos ayuda a disminuir la demanda bioquímica de oxígeno. También viven en las paredes de los tanques de aireación, evitando el excesivo crecimiento de la película biológica que se forma en las paredes. Una planta de lodos activados bien operadas normalmente tiene predominio de uno de los tipos de rotíferos. Cada modificación al proceso también tendrá su propio grupo de rotíferos, así el operador posee un medio rápido de saber si la operación es correcta; esto se logra mediante la práctica en la observación microscópica.

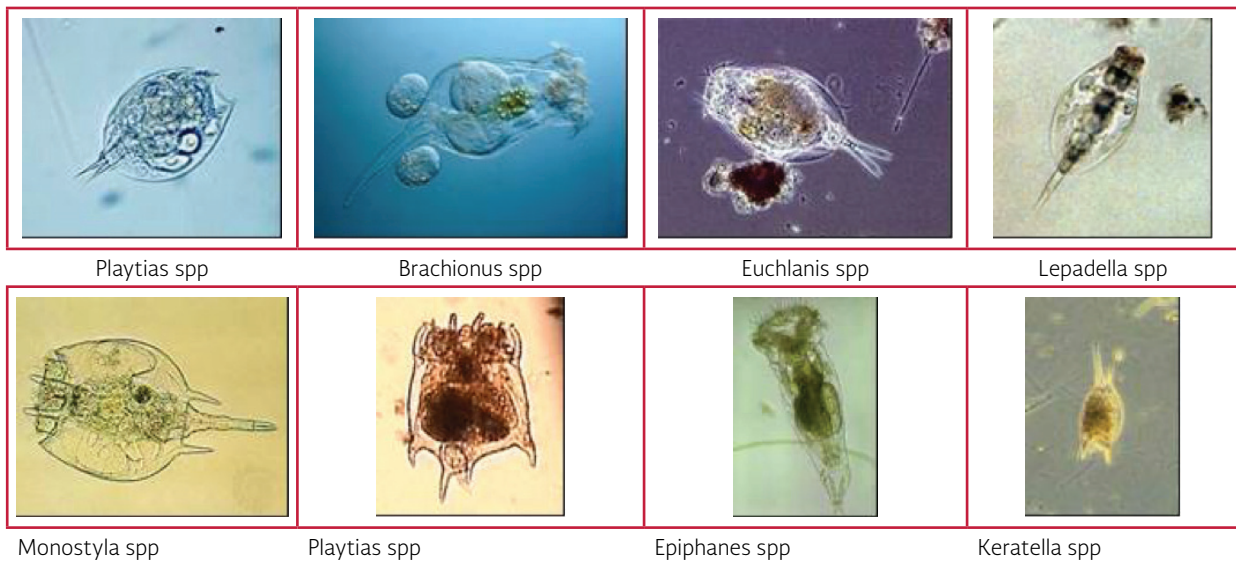
Los rotíferos son estrictamente aerobios y se encuentran normalmente en ambientes con poca contaminación y con al menos 2 mg/L de oxígeno; algunos rotíferos como el género *Brachionus* puede encontrarse solamente en ambientes de agua limpia; otros toleran ambientes semilimpios y pocos toleran alta contaminación. La Ilustración B.8 muestra algunos rotíferos.

Nemátodos

Los nemátodos de vida libre son macroinvertebrados terrestres (animales sin columna vertebral ni huesos), son capaces de vivir en hábitats de agua limpia. Debido a que los suelos están infestados con nemátodos, estos macroinvertebrados pueden introducirse fácilmente a las plantas de tratamiento de aguas residuales y estar presentes en procesos aerobios en gran número y con alta diversidad.

Incluyen una gran variedad de gusanos; son microscópicos y su tamaño varía de 0.5 a 3.00 mm de longitud, por 0.02 a 0.05 mm de ancho. La mayoría de las especies son similares en apariencia.

Ilustración B.8 Rotíferos comunes en tratamiento de aguas residuales



Los nemátodos son gusanos no segmentados, aunque aparentemente poseen segmentos debido al espesor de la cutícula de la epidermis. Tienen cuerpo cilíndrico que se adelgaza en los extremos; la boca y labios se localizan en el extremo anterior y poseen esófago y tracto digestivo, así como sistemas muscular, nervioso y reproductivo. La presencia de nemátodos en aguas limpias o aguas residuales se origina en las corrientes superficiales que llegan a los cuerpos de agua y alcantarillados. Viven en ambientes aerobios donde existe abundancia de alimento. Su dieta se integra de algas, plantas acuáticas, bacterias, materia orgánica en descomposición, protozoarios, rotíferos y otros nemátodos. La boca es, capaz de morder, triturar, rasgar y despedazar las partículas de alimento.

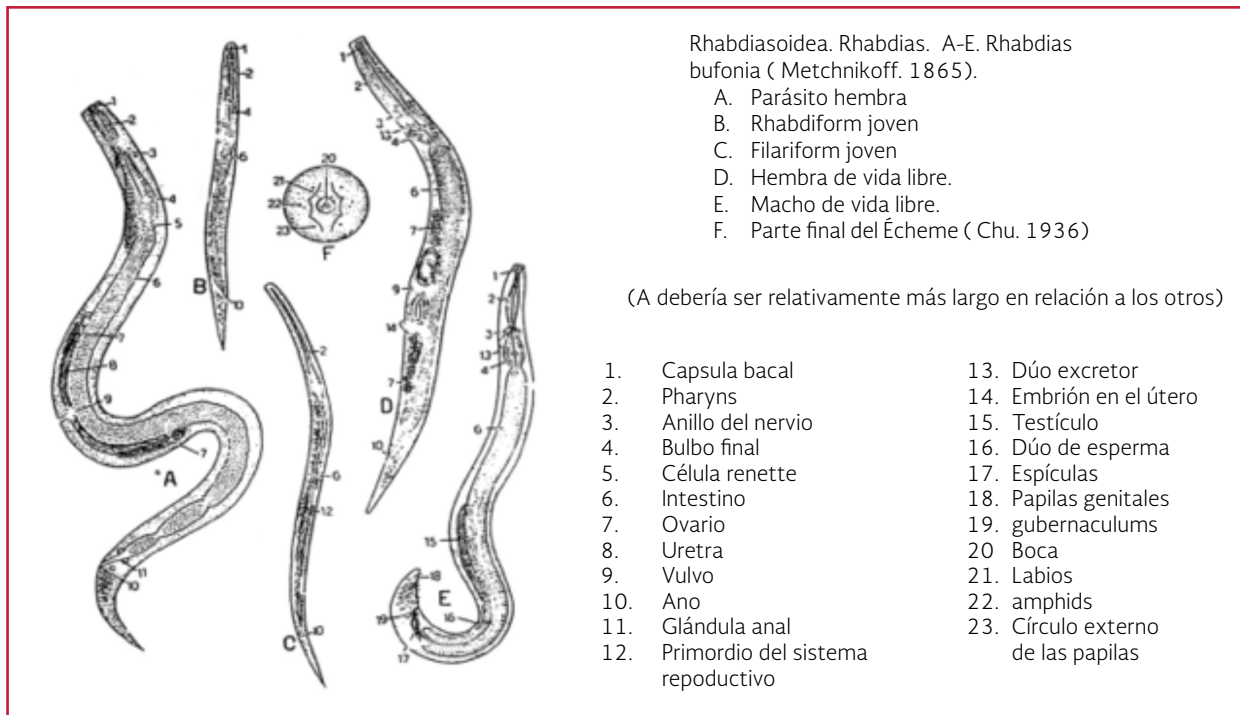
Los nemátodos encontrados en plantas de tratamiento de aguas residuales se clasifican en dos grandes familias: Diplogasteroidea y Rhabditoidea; las diferencias físicas que se pueden observar en la Ilustración B.9, son básicamente la forma de la boca, esófago y labios, así como los extremos (grueso o delgado).

La identificación de nemátodos se basa en reconocer sus características anatómicas, como la forma de la boca, labios, cutícula y extremos; la identificación se hace por medio de comparaciones con ilustraciones en libros especializados.

Los efluentes de las plantas muestran una gran cantidad de nemátodos, particularmente los de proceso de lodos activados debido a su movilidad y resistencia a la cloración; generalmente el número de nemátodos encontrado en lodos activados es mucho menor comparado con el de filtros rociadores.

Los nemátodos encontrados en lodos activados, generalmente están adheridos al floculo; su número es pequeño, el ambiente turbulento del proceso de lodos activados no da facilidades para la reproducción sexual; también el ciclo de vida de la mayoría de los nemátodos de vida libre es mayor que la edad de lodos de casi todos los procesos de lodos activados; esto impide en muchos casos que las hembras desoven para que los huevecillos puedan ser recirculados. Los factores que afectan la población de nemátodos

Ilustración B.9 Estructura de nemátodos y diferencia entre las dos familias principales de nemátodos



incluyen: concentración de oxígeno disuelto, temperatura, concentración de DBO, hongos, etc. La Ilustración B.10 muestra la similitud de huevos de helmintos.

Hongos

Tienen poca importancia en los procesos de tratamiento de aguas residuales por lodos activados, sin embargo son causantes de enfermedades, por lo que su interés es sanitario.

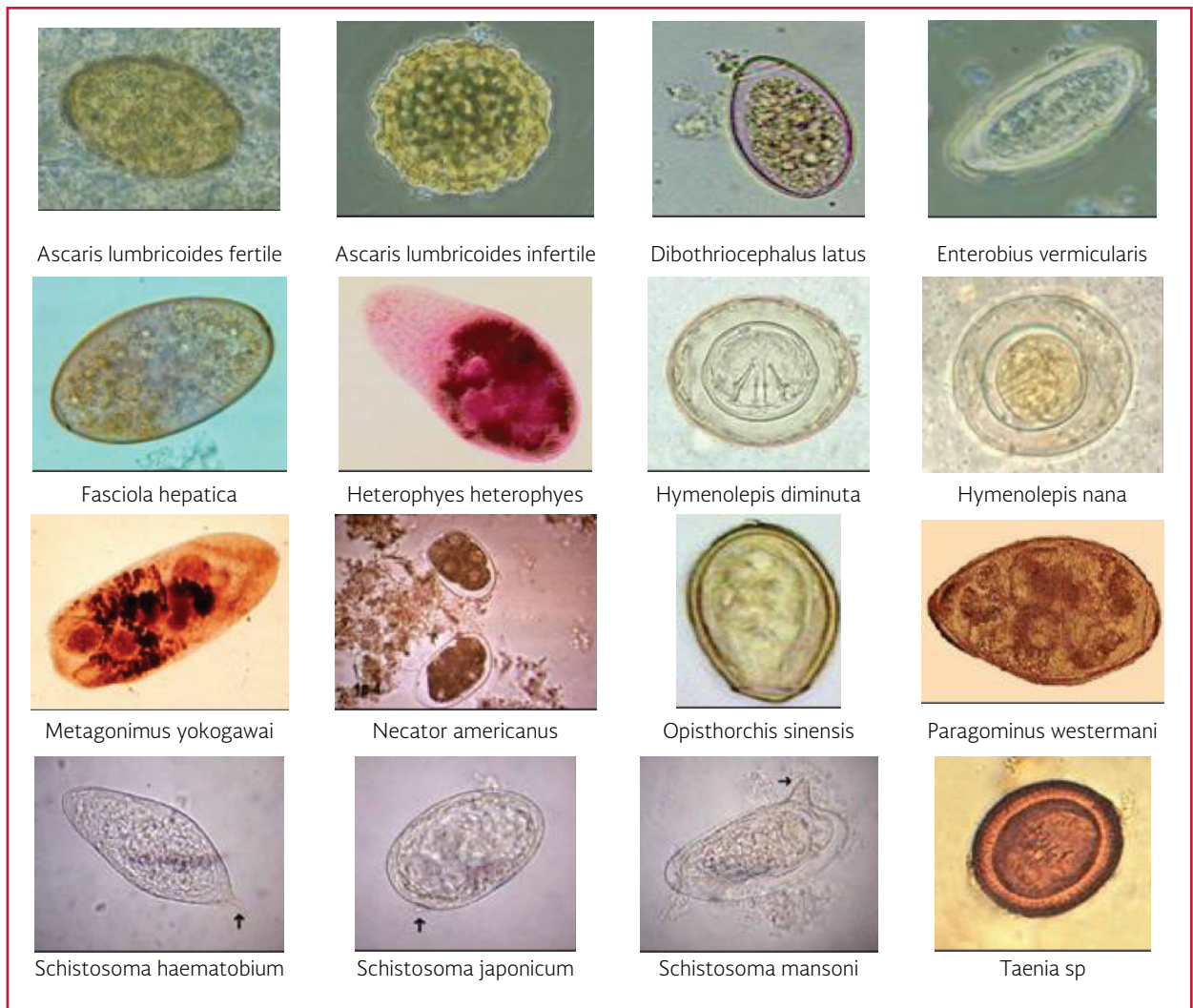
La mayor parte de los hongos aislados de las aguas residuales son asociados con enfermedades de personas con baja resistencia a las infecciones. Poco menos de 50 especies de todos los hongos son capaces de causar enfermedades al hombre. La mayor parte de los hongos patógenos afectan solamente la piel, pelo y uñas (superficialmente); algunos pueden infectar cualquier parte del cuerpo (micosis sistémica). La aspergilosis la causa el *Aspergillus fumigatus*;

afecta al oído, conductos nasales, pulmones y piel; la infección puede clínicamente referirse como tuberculosis. El composteo de lodos es la mayor fuente de infección potencial para el personal de aguas residuales.

La *Candida albicans*, una levadura, produce infecciones pulmonares, bronquitis, vaginitis, uretritis e infecciones superficiales de la piel y uñas. También, involucra las infecciones de membranas mucosas de la boca. La adecuada higiene personal reduce el riesgo de adquirir este patógeno.

B.1.2. DINÁMICA DE LA POBLACIÓN

El contenido de un reactor de lodos activados se integra de una masa o flóculos aerados, rodeada del agua residual afluyente o licor mezclado. Los flóculos de lodos activados están formados por microorganismos, materia coloidal orgánica e inorgánica y partículas mayores, que se mantie-

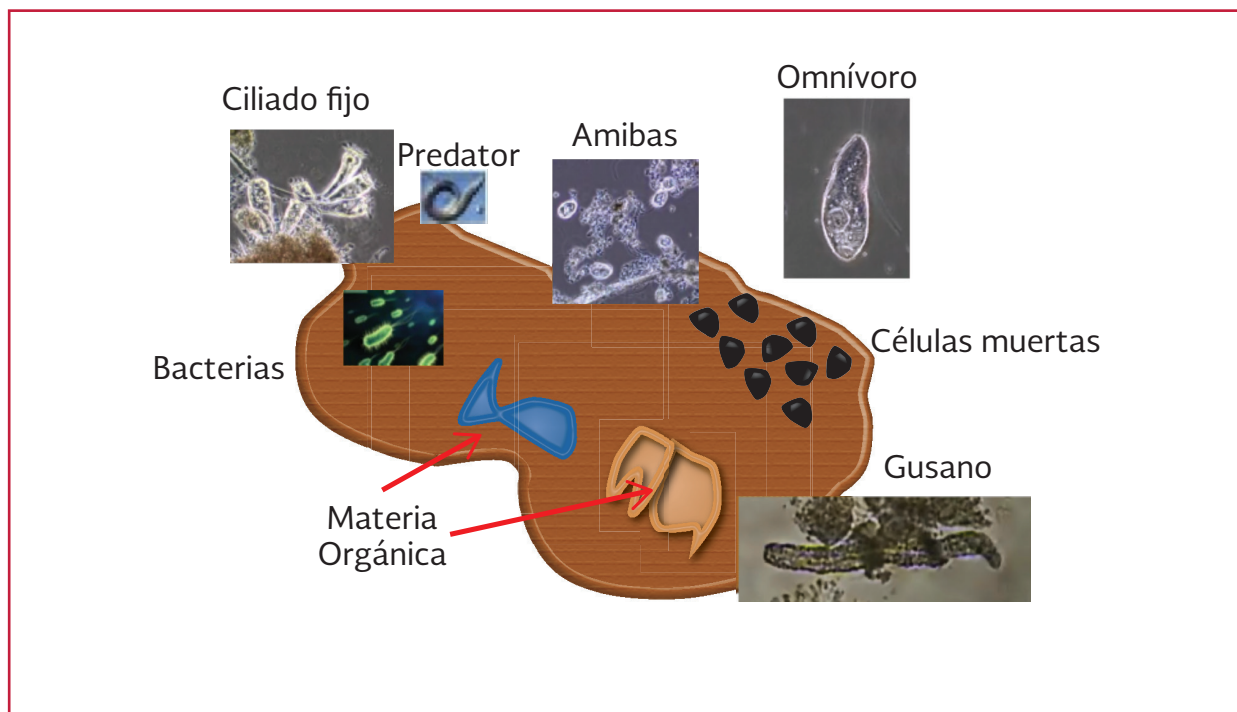


nen juntas en una masa orgánica compleja. En la Ilustración B.11, se muestra un ejemplo de la interacción existente en un flóculo.

Los flóculos pueden estar formados de componentes biológicos o no biológicos. Los componentes biológicos consisten de una amplia variedad de bacterias, hongos, protozoarios y algunos metazoarios. Los componentes no biológicos los constituyen partículas inorgánicas y orgánicas.

Un gran número de protozoarios se fijan al flóculo con sus tallos; los ciliados libres y flagelados se encuentran en el licor mezclado o en la

masa orgánica. Algunos hongos son observados ocasionalmente y son de poca importancia en el proceso de tratamiento. Los bacteriófagos se identifican en grandes cantidades (tan altas como 2×10^4 por mL). Comúnmente su único papel es la remoción de bacterias, incluyendo un gran número de especies patógenas. La población microbiana en un reactor de lodos activados es altamente especializada con baja diversidad de especies, de los cuales las bacterias dominantes son bacilos Gram-negativo. Todas ellas son organismos heterótrofos con la excepción de las bacterias autótrofas del nitrógeno.



Los organismos heterótrofos son aquellos que requieren para su crecimiento un aporte continuo de compuestos orgánicos para la mayoría de las reacciones biosintéticas. Por otro lado, los autótrofos son capaces de obtener el carbono que requieren para las reacciones biosintéticas a partir de dióxido de carbono.

El objetivo principal de una planta de lodos activados de operación convencional es la remoción de DBO; esto lo realizan, casi exclusivamente las bacterias heterótrofas, sin embargo, muchos protozoarios son, capaces de alimentarse saprófitamente. Las comunidades de población pro-

tozoaria reducida muestran remoción baja de DBO (Tabla B.1).

Las bacterias heterótrofas y los protozoarios saprófitos forman el nivel trófico inferior de la cadena alimenticia; y son fuente de alimento, de otros protozoarios y rotíferos.

El papel más importante de los protozoarios es que actúan como agente limpiador al alimentarse de bacterias de nado libre. Esta acción da como resultado un efluente con baja DBO y sólidos suspendidos; también ayudan a remover patógenos. Como el diámetro del floculo biológico varía de

Tabla B.1 Eficiencias de tratamiento con o sin ciliados (protozoarios)

Parámetro analizado	Sin ciliados	Con ciliados
DBO (mg/L)	53 – 70	7 – 24
DQO (mg/L)	198 – 250	124 – 142
Nitrógeno orgánico (mg/L)	14 – 21	7 – 10
SS (mg/L)	86 – 118	26 – 34
Cuenta de bacterias viables 10 ⁶ por mL	106 – 160	1 – 9

50 a 500 μm , existe un gradiente de concentración de DBO y de oxígeno del exterior del flóculo donde serán mayores, al interior del floculo, donde tal vez no exista DBO residual ni oxígeno

Consecuentemente a medida que las bacterias se acercan al centro del flóculo, son depredadas como fuente de nutrientes.

Además de su papel para remover la DBO, los flóculos juegan otro importante papel al promover la sedimentación en los tanques de sedimentación secundaria. Bajo las condiciones de tranquilidad del sedimentador, se forman grandes y compactos flóculos que sedimentan rápidamente y permiten alta concentración de sólidos en el fondo. Es importante purgar el sistema para reducir el manto de lodos en el sedimentador y permitir la recirculación con alta concentración.

El por qué flocculan los microorganismos y el mecanismo exacto de este fenómeno es desconocido; muchos modelos de diferente complejidad han sido propuestos; uno de los más atractivos es el modelo del esqueleto de filamentos, el cual supone que en el reactor, las bacterias filamentosas forman una red o esqueleto al que se fijan las bacterias que forman flóculos. Los protozoarios se fijan y colonizan el floculo; existen evidencias que también ellos excretan una mucosa pegajosa que ayuda a formar un floculo más fuerte.

La operación de plantas de lodos activados involucra la recirculación del lodo sedimentado; los microorganismos que sedimentan rápido y bien en el sedimentador, son regresados al tanque de aireación, permitiendo el rompimiento relativo del floculo. Los que no sedimentan bien son devorados por los protozoarios o descargados en el efluente de la planta. Esto significa que existe

una presión selectiva para las bacterias flocculantes; las bacterias de nado libre requieren tasas de crecimiento muy altas para que su población permanezca estable.

La Ilustración B.12 muestra la diversidad de especies en un proceso de lodos activados y su relación con el funcionamiento del sistema.

B.1.3. FORMACIÓN DE FLÓCULOS

La bioflocculación es una agregación de partículas finamente suspendidas en el medio líquido de origen, la cual conduce a la formación de estructuras cuyas dimensiones y peso específico permiten su separación del medio líquido por decantación. Estas estructuras las denominamos: flóculos (Ilustración B.13). El flóculo tiene un aspecto aglomerado y gelatinoso con dimensiones que van desde 150 μm hasta 500 μm . Está constituido por sustancias principalmente orgánicas en estado coloidal y de numerosas poblaciones de microorganismos como parte de su biomasa activa que oscila entre 10 y 40 por ciento del peso seco total. Esta biomasa está representada generalmente por un 95 por ciento de bacterias y 5 por ciento de Protozoos y Metazoos.

Los microorganismos cumplen entonces dos funciones, una depurativa metabolizando la materia orgánica presente en el efluente a tratar y otra “constructiva” en el sentido de otorgarle la estructura a los flóculos, los cuales deben poder separarse por gravedad del agua depurada en el sedimentador final.

Los flóculos en un estado normal o de funcionamiento ideal de un sistema de tratamiento de lodos activados, presentan un tamaño relativamente grande, forma irregular, equilibrio entre

Ilustración B.12 Diversidad de especies y parámetros en lodos activados

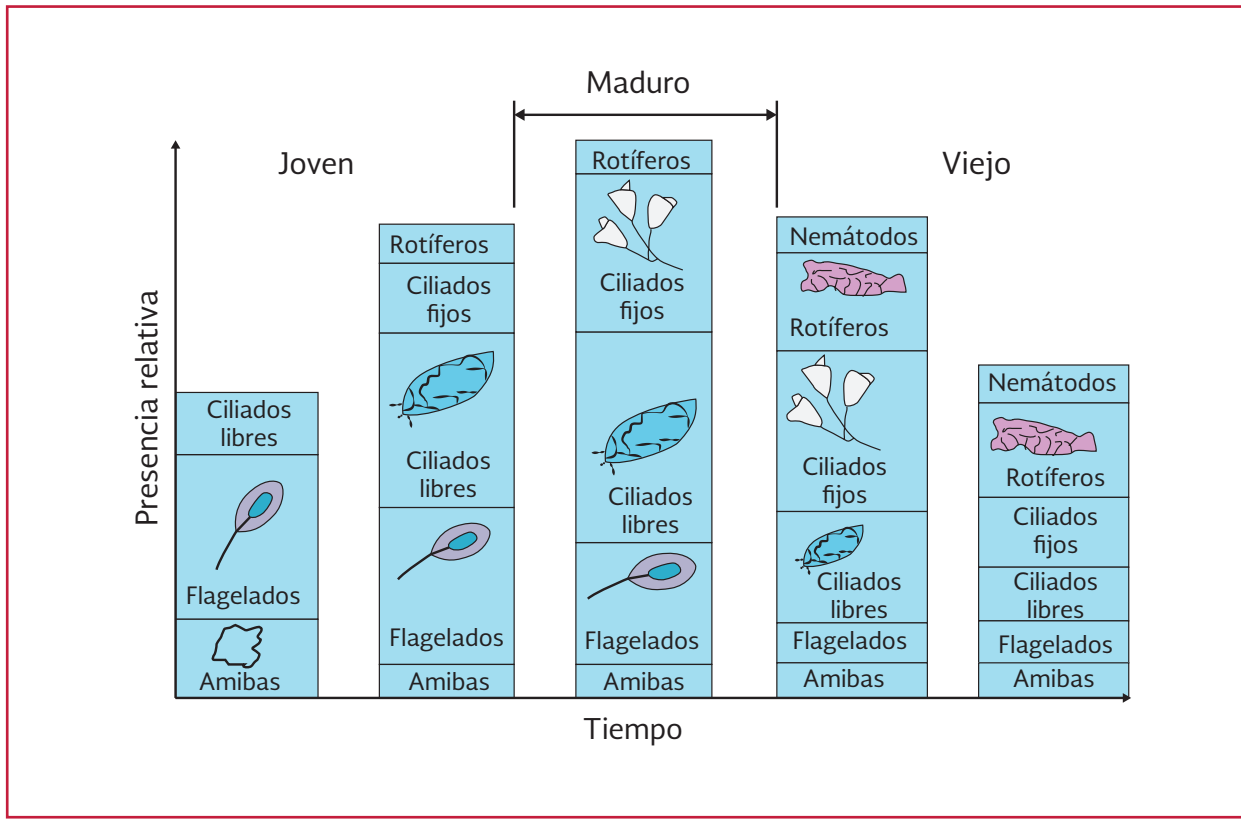
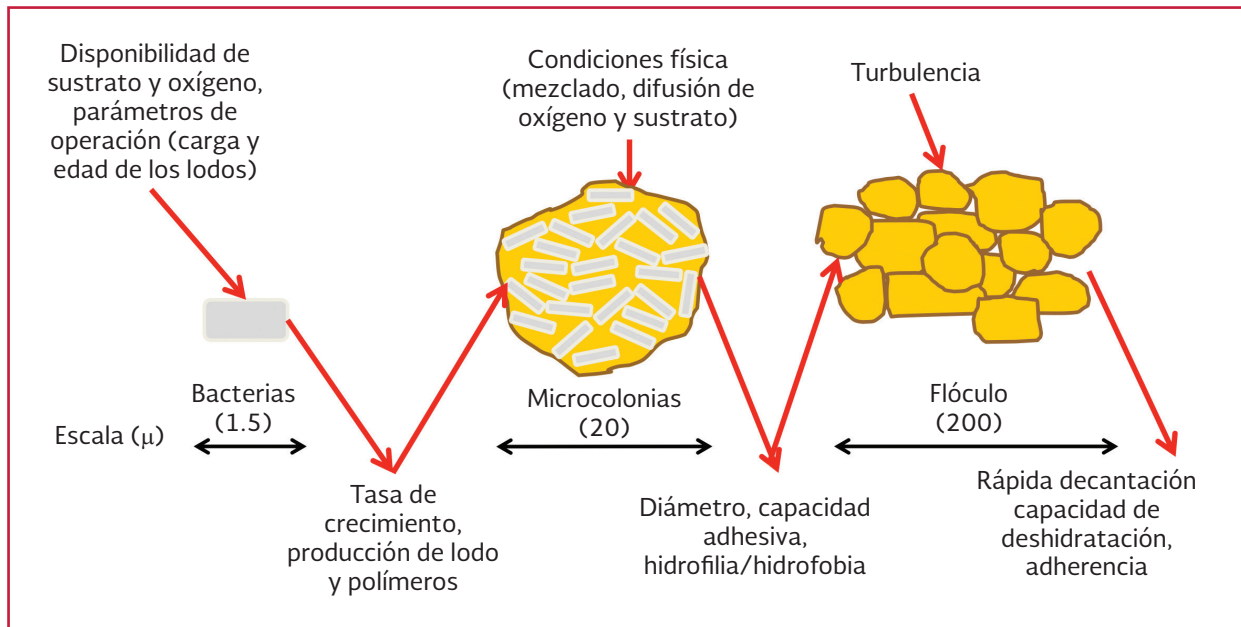


Ilustración B.13 Formación de los floculos



las bacterias formadoras de flóculos y filamentosas. Estas últimas se encuentran principalmente al interior del floculo y casi no se extienden más allá de sus límites externos. Los lodos activos son entonces agregados de partículas y colonias de bacterias aeróbicas los cuales forman estructuras microscópicas denominadas flóculos. Los flóculos se mantienen en un reactor aeróbico a partir de la agitación mecánica externa, la que a su vez renueva el contenido de oxígeno del medio líquido.

Las bacterias presentes en los flóculos o lodos activos remueven la materia orgánica disuelta principalmente en su contenido de carbono, nitrógeno y fósforo. En el primer caso la eficiencia del sistema se evalúa en términos de remoción de DBO o demanda bioquímica de oxígeno. En el caso del nitrógeno mediante reacciones de oxidación y reducción se libera finalmente como nitrógeno gaseoso en un subsistema anóxico. Esta misma combinación de mecanismos aeróbicos-anaeróbicos es utilizada por las bacterias del fósforo, las cuales lo asimilan eliminándolo del medio líquido. Como mencionamos anteriormente la función de la biomasa en un sistema de lodos activados es doble, por un lado depurar el líquido entrante en el sistema y por el otro construir los flóculos de modo que puedan separarse en el sedimentador secundario del agua residual depurada.

En un proceso de tratamiento de aguas residuales por lodos activados, los factores principales que intervienen en la formación del flóculo y su sedimentación son: TRMC, toxicidad (presencia de metales pesados y compuestos orgánicos), descargas de lodos, actividad abundante de los protozoarios ciliados, excesivo esfuerzo cortante, excesiva cantidad de tenso activos o surfactantes. De manera reciente, se ha mostrado que la floculación

resulta de la producción de una capa de polisacárido pegajoso, el cual hace que los organismos se adhieran; otros factores, tales como la superficie química y densidad del flóculo pueden influenciar fuertemente las propiedades de sedimentación. Además, la geometría del sistema y la forma en que el agua residual entra al reactor condicionan las características de floculación del lodo.

B.1.4. USO DEL MICROSCOPIO

El microscopio se usa rutinariamente para identificar y enumerar diferentes tipos de microorganismos presentes en las aguas residuales. Generalmente se emplean dos tipos de microscopios: el de alta capacidad de ampliación, compuesto de un sistema simple de lentes y el estereoscópico binocular con un sistema de lentes doble para alcanzar una imagen con capacidad de ampliación bastante menor (Ilustración B.14).

Microscopio compuesto

Todos los microscopios compuestos funcionan con un sistema de lentes que consiste en un lente objetivo reproductor de imagen, usualmente ampliada del objeto observado y un lente ocular que amplifica la imagen.

Los lentes objetivo y ocular se sitúan en los extremos opuestos del cuerpo del microscopio. La ampliación total del sistema es el producto de la capacidad del lente ocular (generalmente 10x) y la capacidad del lente objetivo (que puede variar). El número de lentes objetivos de un microscopio va desde uno hasta cuatro, colocados en un sistema giratorio que permite cambiarlos según las necesidades. Una combinación típica de ampliación con cuatro lentes objetivos incluye 4x, 10x, 40x y 100x. Los valores están anotados a un costado del propio lente. La Tabla B.2 mues-

tra los tamaños de microorganismos y los lentes recomendados para su observación. La Ilustra-

ción B.15 presenta microorganismos observados al microscopio.

Ilustración B.14 Microscopio óptico

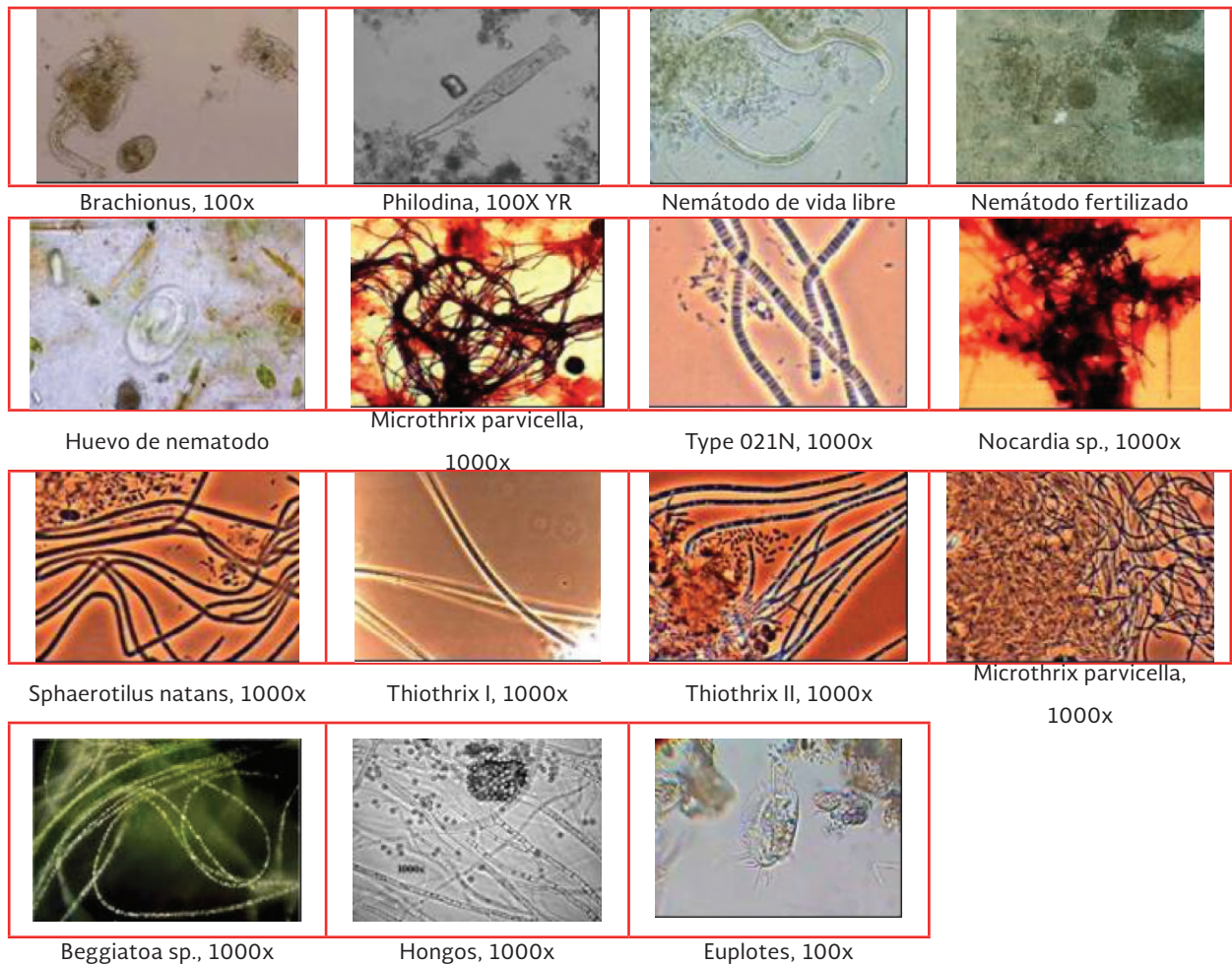


- A Ocular
- B Revólver
- C Objetivos
- D Platina
- E Tornillo de desplazamiento
- F Condensador
- G Tornillo macrométrico
- H Tornillo micrométrico
- I Diafragma iris
- J Tornillo para regular la altura del condensador
- K Interruptor revelador de intensidad de luz
- L Pinzas
- M Pie o soporte

Tabla B.2 Tamaños de microorganismos y lentes recomendados para su observación

Medidas	Organismos	Grupos taxonómicos y elementos constitutivos	Lentes	Microscopios	
500	Rotífero	Rotíferos	10 – 20x	Microscopio de luz	Microscopio electrónico
400	Nematodo	Nematodos	10 – 20x		
300	Stylonchia sp	Protozoarios	40x		
200	Trachelocerca sp				
170	Tokophrya sp				
160	Epistylis sp				
150	Euplotes sp				
75	Volvox sp		40x		
65	Opercularia sp				
50	Pandorina sp				
40	Aspidisca sp				
20	Oikomonas sp		40 – 100x		
10		Células hemáticas	40 – 100x		
1	Bacterias	Bacterias	40 – 100x		

Ilustración B.15 Microorganismos vistos en microscopio



B.1.5. PROCEDIMIENTOS PARA EL USO DEL MICROSCOPIO

Estos procedimientos son generales para microscopios compuestos; para un microscopio en particular habrá que consultar los manuales correspondientes.

Utilice la perilla de ajuste grueso para enfocar el objeto, bajando lo más cerca posible el lente al portaobjetos; observe por el ocular, y enfoque alejando el lente; una vez que aparece el espécimen utilice la perilla de ajuste fino.

Para una mejor imagen, ajuste la iluminación con la lámpara y el espejo, o con el sistema integrado de iluminación.

Para observar mayores detalles cambie a un objeto de mayor capacidad de ampliación, pero siempre utilice el de menor capacidad primero. Después de encontrar y enfocar los objetos de interés, cambie al objetivo de mayor capacidad.

Incremente la intensidad de la luz cuando cambie a objetivos de mayor capacidad.

B.1.6. RECOMENDACIONES PARA SU MANEJO

Limpie los lentes del microscopio antes de usarlo. Coloque la muestra evitando que toque los lentes objetivos. Enfoque siempre de abajo hacia arriba para evitar el contacto. Siempre vea el microscopio (no el ocular) cuando cambie de objetivo. Si no existe suficiente espacio, no fuerce el objetivo; suba el brazo (o baje la platina); entonces coloque

el objetivo en su lugar; con esto evitará el daño al microscopio. Desarrolle el hábito de variar los niveles de iluminación para encontrar el nivel necesario en cada caso. Esto es importante para una mejor definición de los especímenes. Asegúrese de mantener la platina y los portaobjetos siempre secos y limpios. Cuando termine, regrese el objetivo de menor capacidad a posición de uso, baje el brazo totalmente y guárdelo en su estuche para colocarlo en su lugar.

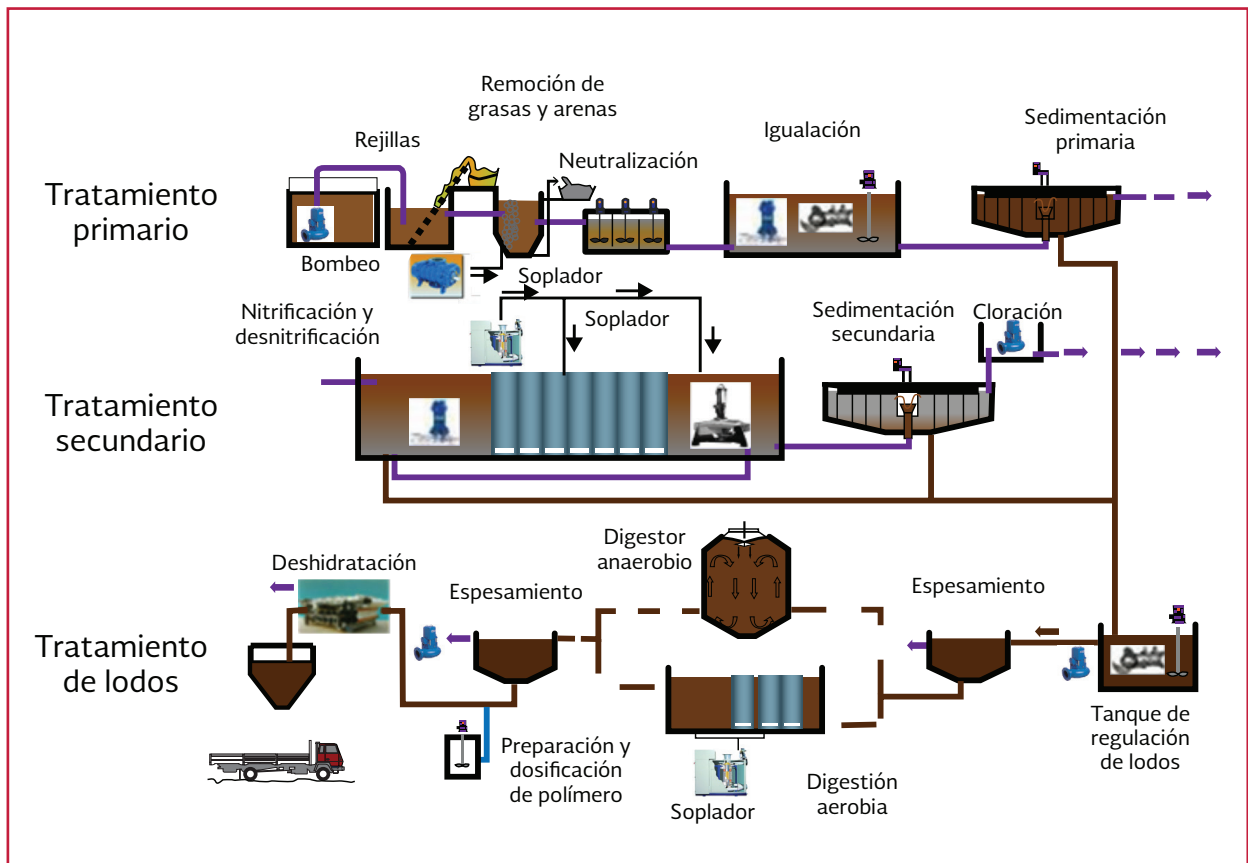
C

DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DE PROCESO

En la operación de una planta de tratamiento de aguas residuales están involucrados varios tipos de equipos, tales como rejillas automáticas, bombas de agua y lodos, agitadores, aireadores o compresores seguidos de difusores, de los cuales existe una infinita variedad y por tan-

to proveedores (Ilustración C.1). Ahora bien, sin la ayuda de estos equipos sería muy difícil que el proceso realmente lograra su objetivo. A continuación se realiza una descripción de los diferentes equipos que se emplean y su importancia en el proceso.

Ilustración C.1 Principales equipos que se emplean en una PTAR



C.1. REJILLAS

Este equipo se describe con mayor detalle en el libro “Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, TOMO 1: Pretratamiento y tratamiento primario”.

C.2. BOMBAS

Las bombas son equipos indispensables en una planta de tratamiento, debido a que éstas son las que mueven el agua a través del sistema, así como los subproductos que se generan en las mismas, tales como los lodos biológicos. Además, de que son empleadas para dosificar ciertos reactivos de ser necesarios en algunas etapas del tratamiento. Ilustración C.2 muestra un esquema en donde se sugiere el tipo de bomba a emplearse de acuerdo al tipo de proceso y corriente a transportar.

Las bombas se pueden clasificar como de energía cinética y de desplazamiento positivo.

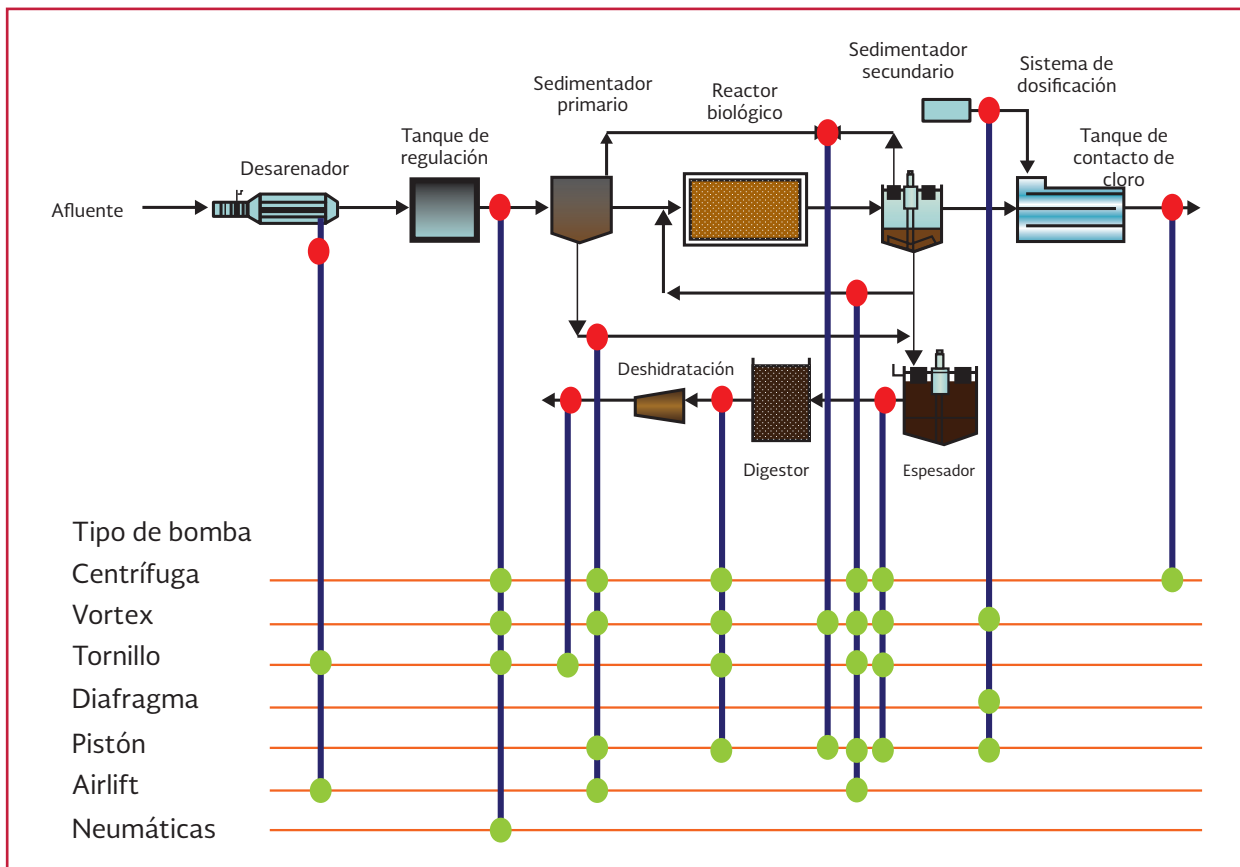
C.2.1. BOMBAS CENTRÍFUGAS

En las bombas centrífugas la energía se comunica al líquido por medio de álabes en movimiento de rotación, a diferencia de las bombas de desplazamiento volumétrico o positivo, de las rotativas (de engranajes, tornillos, lóbulos, levas, etc.) y alternativas de pistón, de vapor de acción directa o mecánicas.

Las ventajas principales de las bombas centrífugas son:

- Caudal constante
- Presión uniforme
- Sencillez de construcción

Ilustración C.2 Recomendaciones de empleo por proceso y tipo de bomba (Adaptado de Syed R. Qasim,1994)



- Tamaño reducido
- Bajo mantenimiento
- Flexibilidad de regulación

Uno de sus pocos inconvenientes es la necesidad de cebado previo al funcionamiento, ya que las bombas centrífugas, al contrario que las de desplazamiento positivo, no son autoaspirantes.

Los principales tipos de bombas centrífugas son:

- Radiales, axiales y diagonales
- De impulsor abierto, semiabierto y cerrado
- Horizontales y verticales

El eje de rotación de una bomba puede ser horizontal o vertical, (rara vez inclinado). De esta disposición se derivan diferencias estructurales en la construcción de la bomba que a veces son importantes, por lo que también las aplicaciones de los dos tipos de construcción suelen ser, a menudo, distintas y bien definidas.

Bombas horizontales

La disposición del eje de giro horizontal presupone que la bomba y el motor se hallan a la misma altura; éste tipo de bombas se utiliza para funcionamiento en seco, exterior al líquido bombeado que llega a la bomba por medio de una tubería de succión. Las bombas centrífugas, sin embargo, no deben rodar en seco, ya que necesitan del líquido bombeado como lubricante entre aros rozantes e impulsor, y entre empaquetadura y eje.

Como no son autoaspirantes requieren, antes de su puesta en marcha, el estar cebadas; esto no es fácil de conseguir si la bomba no trabaja en car-

ga, estando por encima del nivel del líquido, que es el caso más corriente con bombas horizontales, siendo a menudo necesarias las válvulas de pie, (succión), y los distintos sistemas de cebado.

Como ventajas específicas se puede decir que las bombas horizontales, (excepto para grandes tamaños), son de construcción más barata que las verticales y, especialmente, su mantenimiento y conservación es mucho más sencillo y económico; el desmontaje de la bomba se suele hacer sin necesidad de mover el motor y al igual que en las de cámara partida, sin tocar siquiera las conexiones de succión e impulsión.

Bombas verticales

Las bombas con eje de giro en posición vertical tienen, casi siempre, el motor a un nivel superior al de la bomba, por lo que es posible, al contrario que en las horizontales, que la bomba trabaje rodeada por el líquido a bombear, estando, sin embargo, el motor por encima de éste.

Bombas verticales de funcionamiento en seco

En las bombas verticales no sumergidas, el motor puede estar inmediatamente sobre la bomba, o muy por encima de ésta. El elevarlo responde a la necesidad de protegerlo de una posible inundación o para hacerlo más accesible si, por ejemplo, la bomba trabaja en un pozo. El eje alargado puede ser rígido o flexible por medio de juntas universales, lo que simplifica el problema del alineamiento. Para bombas de gran caudal, la construcción vertical resulta en general más barata que la horizontal.

La ventaja de las bombas verticales, es que requieren muy poco espacio horizontal, por lo que se emplean normalmente en aplicaciones mari-

nas, para aguas sucias, drenajes, irrigación, circulación de condensadores, etc.

Bombas verticales sumergidas

En las bombas centrífugas elimina el inconveniente del cebado, por lo que el impulsor se halla continuamente, aún parado rodeado por el líquido a impulsar y, por lo tanto, la bomba está en disposición de funcionar en cualquier momento, por lo que solo se requiere de la puesta en marcha del motor. La succión se hace a 2 ó 3 veces el diámetro del orificio de ésta, con respecto al nivel libre del líquido. Si esta profundidad es menor de lo debido, se pueden crear en la superficie vórtices o remolinos por cuyo centro se introduce aire en la bomba, con la consiguiente pérdida de caudal y deficiente funcionamiento.

Las bombas sumergidas tienen la ventaja de ocupar un espacio horizontal mínimo, sólo el necesario para acomodar el motor vertical y la impulsión, siendo incluso ésta a veces subterránea. Las ventajas hidráulicas son evidentes al desaparecer todos los problemas de succión que constituyen el principal inconveniente en el funcionamiento de las bombas centrífugas. Desde un punto de vista mecánico, esta disposición presenta grandes inconvenientes con respecto a la horizontal. Las bombas son inicialmente más caras y su mantenimiento mucho más elevados, ya que cualquier reparación exige el desmontaje de la bomba para izarla a la superficie.

El eje alargado, somete a los cojinetes a un trabajo duro que sobre todo, si están lubricados por agua o líquidos sin grandes propiedades lubricantes, hace que su vida sea corta e imprevisible. Los tipos más importantes de bombas verticales sumergidas son de turbina o de pozo profundo y las de hélice.

C.2.2. BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Bombas volumétricas

En la bomba de desplazamiento se realiza el desalojo periódico del líquido con un aumento de presión, mediante un dispositivo de desplazamiento (pistón, engranaje, etcétera), con unos espacios que comunican, periódicamente, la cavidad de recepción del líquido o cámara de succión, con la cavidad de descarga o cámara de impulsión, pudiendo tener una o varias cámaras de trabajo.

El paso del líquido por la bomba volumétrica, a diferencia del paso por los álabes de una bomba centrífuga, es siempre más o menos irregular, por lo que en general, el caudal se considerará como el valor medio del caudal impulsado.

La cavidad de succión tiene que estar, siempre, herméticamente aislada de la de descarga o impulsión; a veces se puede admitir la existencia de pequeñas filtraciones de líquido, aunque en proporciones muy pequeñas en relación al caudal de la bomba.

Bombas de émbolo

En las bombas de émbolo el líquido es desalojado de las cámaras de trabajo por el movimiento alternativo de un pistón, mediante un mecanismo biela manivela, aunque también se pueden utilizar otros mecanismos, como levas, excéntricas, etc.

En las bombas de émbolo más usuales existen válvulas de succión y de impulsión que regulan el movimiento del líquido a través de la cámara de trabajo que, así mientras se llena, la válvula de succión permanece abierta y la de impulsión cerrada, invirtiéndose la posición de las válvulas

durante el desalojo o impulsión del líquido; estas válvulas sólo se abren por la acción del gradiente de presiones, y se cierran por su propio peso o por la acción de algún mecanismo con muelle. Según el número de cámaras de trabajo se dividen en bombas de simple efecto, $z = 1$, y de doble efecto, $z = B$.

En la bomba de simple efecto, el líquido se impulsa por una media vuelta de la manivela, y en la segunda media vuelta, el líquido se succiona, existiendo en consecuencia una gran irregularidad en el suministro (Ilustración C.3).

Para la bomba de doble efecto, (Ilustración C.4), el suministro durante una vuelta se reduce por dos veces a cero, y también, por dos veces, alcanza el valor máximo, siendo su irregularidad menor que para el caso de simple efecto, pero aun así es demasiado grande, por cuanto la presión del líquido junto al émbolo varía fuertemente debido a la corriente irregular en las tuberías.

Durante el movimiento acelerado del émbolo, y en consecuencia, del líquido en la tubería de succión, tiene lugar una caída de presión junto al émbolo que puede provocar cavitación, e incluso, separación del líquido de la superficie del émbolo, consumiéndose una potencia suplementaria en el aumento periódico de las pérdidas de carga por rozamiento del líquido contenido en las tuberías de succión e impulsión.

Las bombas de émbolo pueden crear presiones de miles de atmósferas, siendo de entre todas las bombas existentes, las que poseen mayor impulsión; normalmente funcionan con números de revoluciones bajos, del orden de 300 a 500 r/min

(velocidad del émbolo < 1.5 m/s), ya que si las revoluciones son más altas, se puede llegar a alterar el funcionamiento normal de las válvulas de succión e impulsión, debido a esta marcha lenta, sus dimensiones resultan bastante mayores que las de una bomba centrífuga que funcione en las mismas condiciones de caudal y altura manométrica. La regulación del caudal se puede hacer modificando el número de rpm del cigüeñal, o mediante un by-pass, haciendo que parte del caudal impulsado vuelva otra vez a la cámara de succión.

El caudal real (q) permite obtener rendimientos volumétricos que oscilan entre el 0.85 y el 0.99, siendo mayor en aquellas bombas cuyo émbolo es de mayor diámetro, y menor si disminuye la viscosidad del líquido.

A continuación se muestran y describen algunas bombas que actualmente se encuentran disponibles en el mercado (Tabla C.1). La información proporciona usos o aplicaciones, principales características de operación, caudal que puede transportar y altura de descarga.

A continuación se muestran en la Tabla C.2 las características de operación y construcción de una bomba centrífuga sumergible de marca IMPEL, así en la Ilustración C.5 se muestran las curvas de desempeño y consumo de energía. También se puede observar un diagrama de las partes que la componen y su fácil instalación.

C.3. SEDIMENTADORES

Este equipo se describe con mayor detalle en el libro *Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, Pretratamiento y tratamiento primario* del MAPAS.

Ilustración C.3 Esquema de bomba de émbolo de simple efecto (Fuente: IMPEL de México)

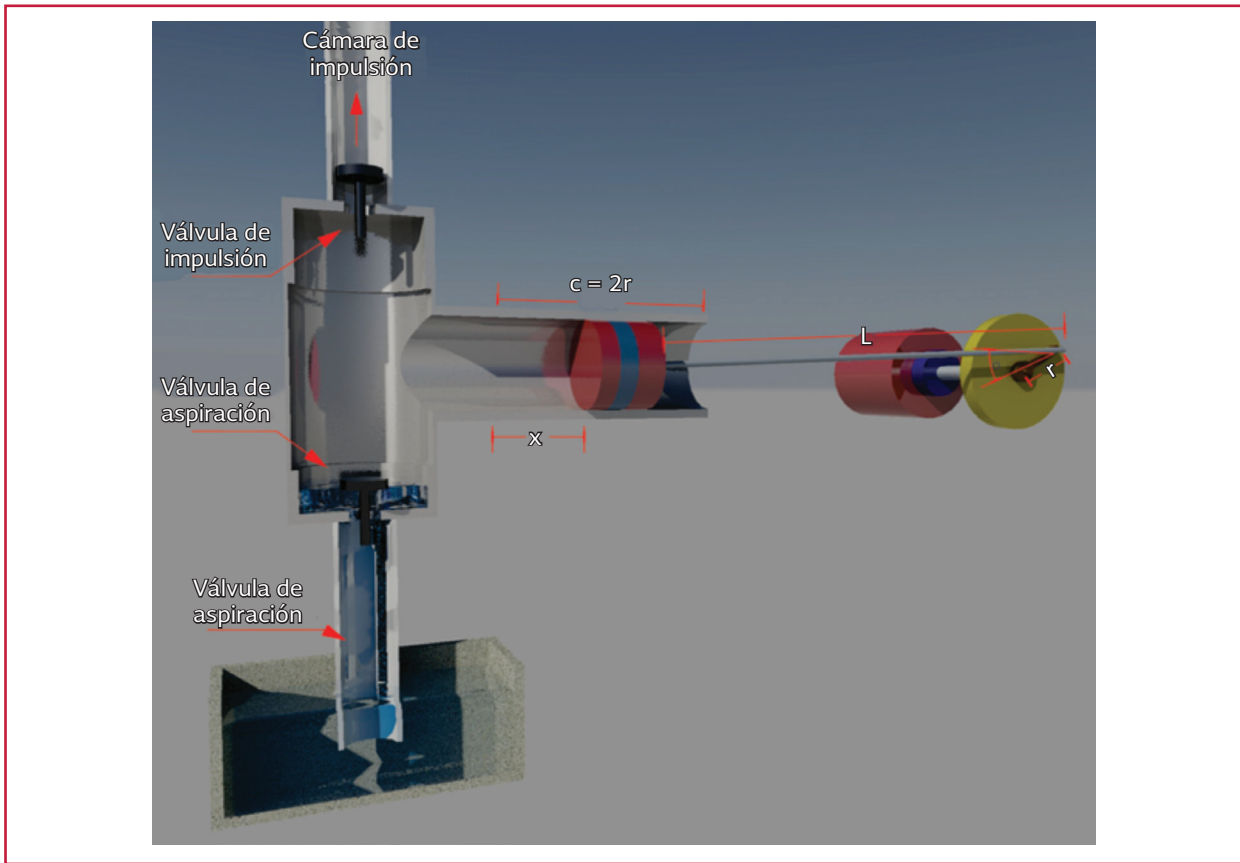


Ilustración C.4 Esquema de cuerpo de bomba de émbolo de doble efecto (Fuente: IMPEL de México)

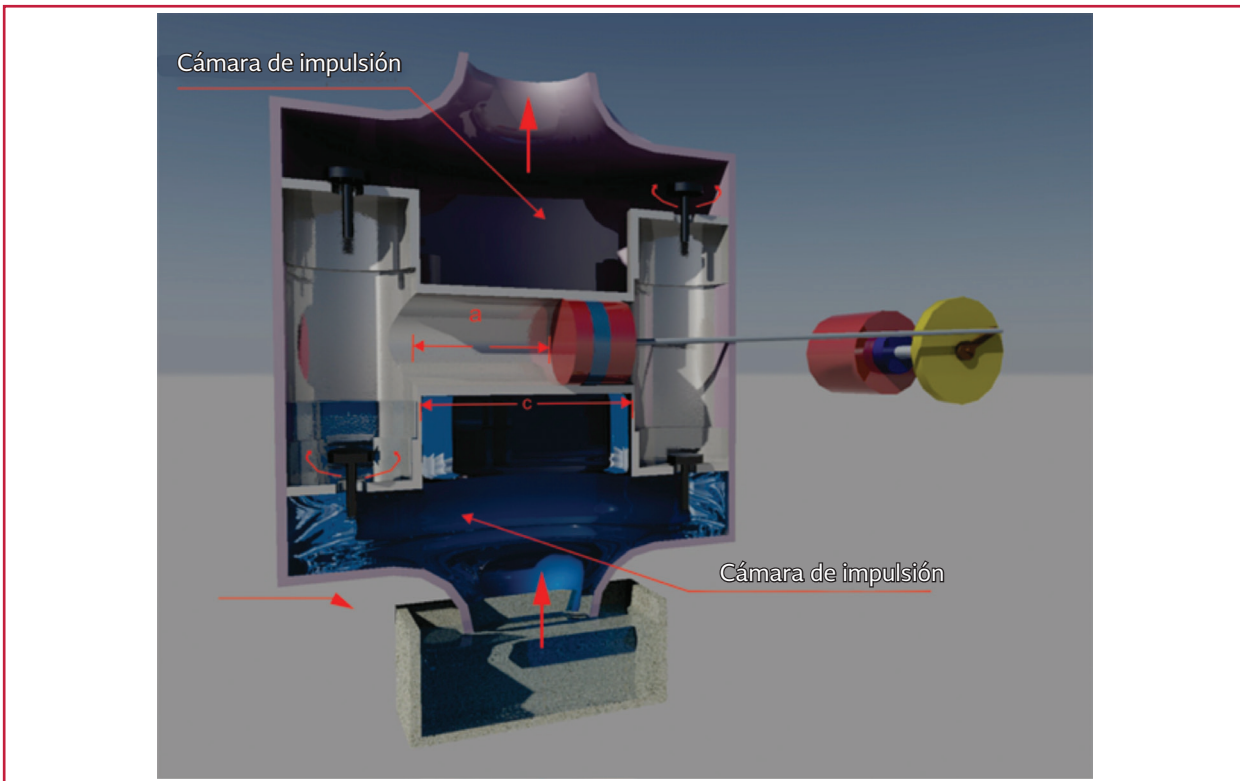


Tabla C.1 Descripción de bombas ABS

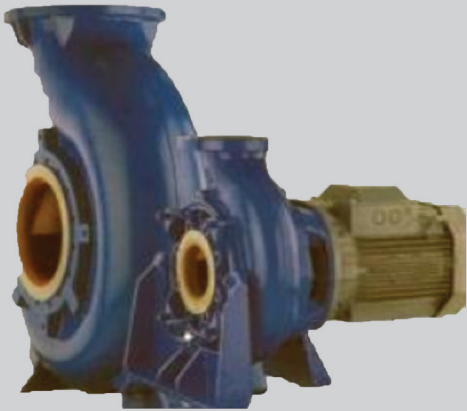


Imagen	Definición
	<p>Bomba inatascable de instalación en seco, para bombeo de aguas residuales para aplicaciones urbanas e industriales</p> <p>Su diseño permite retirar la parte posterior del equipo y los motores utilizados son eléctricos tipo estándar, simplificando así los trabajos de mantenimiento. El dimensionamiento de su impulsor y voluta las hace prácticamente inatascables. Posibilidad de funcionamiento en seco con doble junta mecánica. También pueden suministrarse con equipo de cebado si fuera necesario. Puede proporcionar un caudal hasta de 8 000 m³/h a una altura máxima de 65 m.</p>
	<p>Bombas de construcción robusta para aguas residuales con potencia entre 1 y 3 KW, apropiadas para bombeo de aguas en edificios y aplicaciones industriales</p> <p>Con motor encapsulado, totalmente hermético y con impulsor vortex para un funcionamiento sin bloqueos. Puede proporcionar un caudal hasta de 80 m³/h a una altura máxima de 35 m.</p>
	<p>Bomba sumergible con potencia entre 1.3 y 1 000 KW (1.7 a 1 300 HP).</p> <p>Puede proporcionar un caudal hasta de 11 500 m³/h a una altura máxima de 90 m. Puede ser empleada para el manejo de cualquier tipo de agua con contenido de sólidos y hasta lodos.</p> <p>Los impulsores pueden ser abiertos o cerrados, con uno o varios álabes.</p>

Tabla C.1 Descripción de bombas ABS (continuación)

Imagen	Definición
	<p>Bombas para aguas residuales con acción de trituración de sólidos y para conducción en tuberías de diámetros pequeños</p> <p>Ideal para sitios en donde se tenga que elevar el agua a grandes alturas o donde solo se puedan colocar tuberías pequeñas</p> <p>Puede proporcionar un caudal hasta de 32 m³/h a una altura máxima de 80 m.</p>
	<p>Bombas sumergibles de flujo axial</p> <p>Están diseñadas para el bombeo de grandes caudales a alturas moderadas y sus aplicaciones incluyen el bombeo de aguas pluviales, aguas residuales y protección contra inundaciones. Cuenta con un impulsor semiabierto que permite el paso de cierto tamaño de sólidos.</p> <p>Puede proporcionar un caudal hasta de 25 000 m³/h a una altura máxima de 30 m.</p>
	<p>Bomba axial de cámara partida, de instalación horizontal o vertical, equipada con un impulsor de doble aspiración</p> <p>Puede proporcionar un caudal hasta de 17 000 m³/h a una altura máxima de 220 m.</p>
	<p>Bomba de hélices sumergibles para el bombeo y recirculación de lodos activados, especialmente adecuada para el proceso de desnitrificación/nitrificación.</p> <p>Diseñada para grandes caudales (4 500 m³/h) y bajas alturas (1.8 m). La instalación es sencilla, ya que ésta descende a lo largo de un tubo de guía y se conecta a la tubería mediante un sistema de acoplamiento automático.</p>

Tabla C.2 Bombas centrífugas sumergibles IMPEL

Diámetro de descarga	200 mm (8")		
Paso de esfera	76 mm (3")		
Modelo	LD-200-xxx-yyy-W		
HP del motor	75	100	125
Diámetro Std. Del impulsor (mm)	310	322	340
Polos / (r/min)	1 750		
Servicio	Continuo		
Temp. máx. liq. bombeado	40°C (104°F)		
Tipo de motor	Inducción jaula de ardilla		
Motor	Inundado en aceite		
Volts	440		
Fases	3		
Hz	60		
Amperaje máximo 440v	93	123	154
Amps. a rotor bloq. 440v	448	567	567
Aislamiento clase	F		
Longitud de cable	8 m (26")		
Impulsor tipo	Cerrado 2 álabes		
Brida de descarga	200 mm clase 125		
Lubricación de baleros	Aceite		
No. de sellos mecánicos	2		
Materiales			
Voluta	Fo.Fo. ASTM-A48-CL-30		
Impulsor	Fo.Fo. ASTM-A48-CL-30		
Flecha	410-SS		
Sello mecánico superior	Carbón-Cerámica		
Sello mecánico inferior	Carbón-Cerámica		
Tornillos y tuercas	18-8-SS		
Anillo de desgaste	Bronce		
Maneral	316 SS		
Pintura	Epóxica		

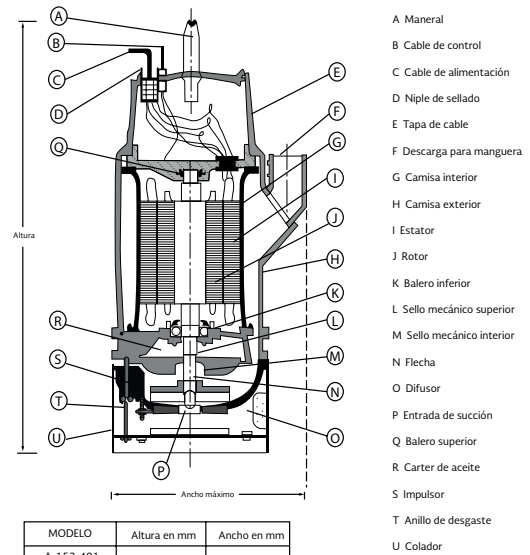
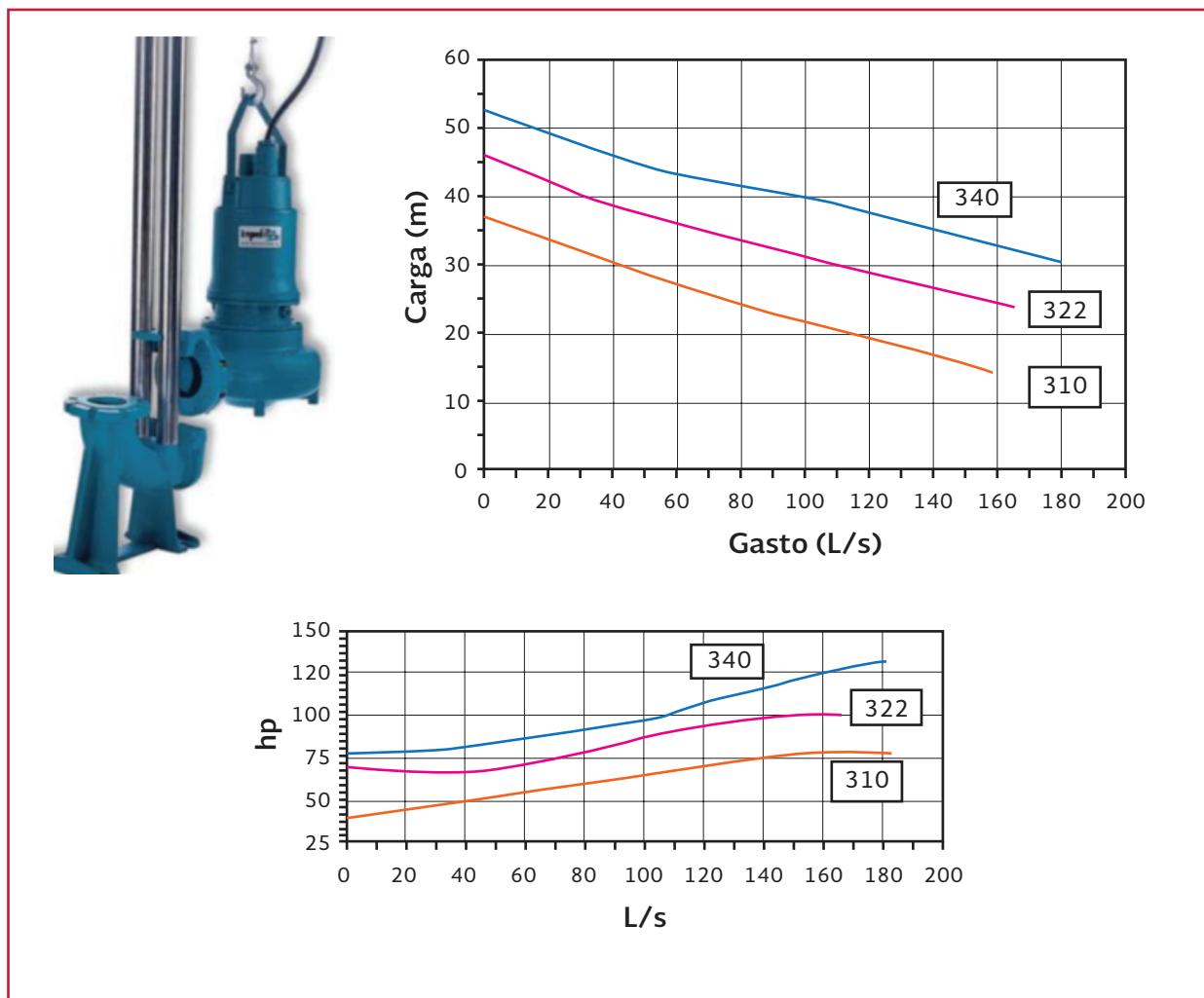


Ilustración C.5 Costo de inversión y operación del sistema de aireación (Fuente: Grupo ABS 2009)



C.4. SISTEMAS DE AIREACIÓN

En los tratamientos biológicos aerobios es importante conocer los factores que influyen directamente sobre la transferencia de oxígeno y la calidad del agua por tratar. Así, es necesario tomar en cuenta la temperatura del agua, altitud a la que está localizada la instalación, agitación requerida, profundidad y forma del tanque de aireación, características del equipo de aireación y sobre todo los constituyentes de agua, inorgánicos y/u orgánicos, particulados y/o disueltos.

Sin dejar de lado la importancia de la calidad del agua, al sistema de aireación se le considera como el corazón de las plantas de lodos activados, debido a que:

- Proporciona el oxígeno necesario para que los microorganismos puedan realizar sus funciones metabólicas, esto es para oxidar la materia carbonácea y el nitrógeno amoniacal
- Distribuir uniformemente el oxígeno en todo el volumen del tanque, proporcionando una burbuja uniforme para que

los microorganismos puedan utilizarlo adecuadamente, generando así una buena actividad biológica y por tanto un buen flóculo que sedimentará adecuadamente proporcionando un efluente claro

- Genere la energía necesaria para mantener en suspensión a la materia y a los microorganismos que deben estar en contacto todo el tiempo

Una información relevante en los sistemas de aireación, es que solo representan el 5 por ciento de los costos de inversión de una PTAR, sin embargo, los costos de operación son muy cercanos al 80 por ciento, esto debidos al consumo energético (Ilustración C.5).

Una vez que entra en operación la PTAR la distribución del sistema de aireación es un 10 por ciento en pretratamiento, un 70 por ciento en reactores biológicos y un 20 por ciento en el tratamiento de lodos, aunque en pretratamiento estrictamente necesario no es y en el tratamiento de lodos se puede tener un proceso anaerobio, lo cual puede dejar al sistema secundario con el 100 por ciento.

Los sistemas de aireación están divididos o clasificados por la forma en que se introduce el aire al tanque de aireación, así se tienen los que aspiran aire (mecánicos) y los que suministran aire a presión (difusión).

C.4.1. AIREADORES MECÁNICOS

La aplicación más usual de aireadores mecánicos incluye varias modificaciones al proceso de lodos activados, zanjas de oxidación, unidades de forma oval o de anillo, lagunas aeradas, etc. Los aireadores mecánicos también son usados en otras unidades de proceso, como en sistemas de preaeración y tanque de homogeneización.

Los principales requisitos para aceptar equipos de aireación mecánica son los siguientes:

- Se debe tener suficiente transferencia de oxígeno a un costo razonable
- La capacidad de mezclado debe ser suficiente
- Los aerosoles y rocío causado por la aireación no deben contaminar el aire; esto es importante en plantas cercanas a zonas residenciales
- Los aireadores requieren bajo mantenimiento, flexibilidad de operación y control del equipo

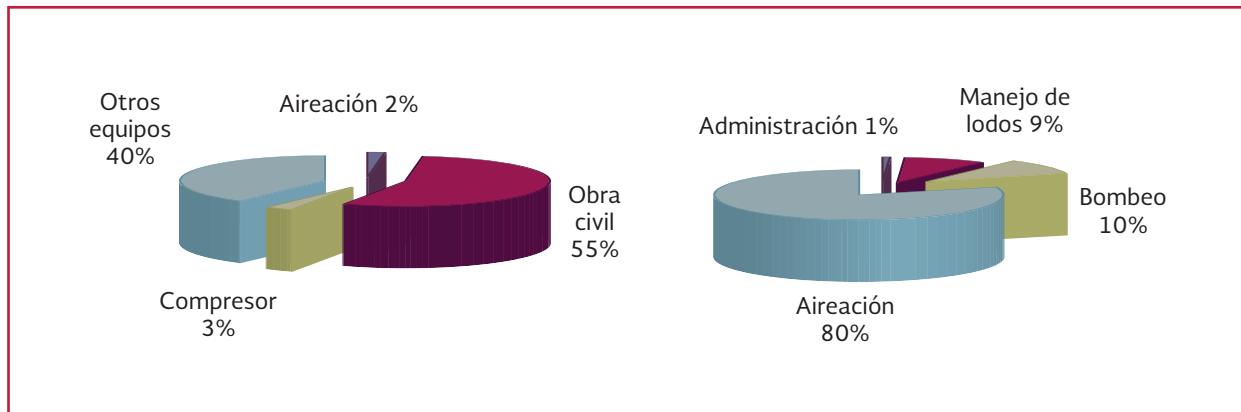
Los aireadores mecánicos dan una combinación de aireación y mezcla del líquido. Algunos producen la interfase gas-líquido tomando aire de la atmósfera y dispersándolo en burbujas; otros dispersan el líquido en el aire en forma de gotas; algunos producen películas delgadas de agua que entran en contacto con el aire, y otros generan gotas de agua y burbujas de aire. Un grupo específico de aireadores mecánicos usan la difusión inyectando el aire de la superficie al líquido; se llaman aireadores mecánicos combinados.

Aireadores de turbina

Con este tipo de aireadores se consigue una entrada de oxígeno atmosférico por aireación superficial y al dispersar el aire comprimido por la acción de la cizalladura, producida por la turbina. Las burbujas de aire que entran por una tubería, colocada abajo del agitador, se rompen por el efecto de corte de las palas del agitador, que gira a alta velocidad (Ilustración C.6).

Una característica importante de las turbinas es su flexibilidad, debido a que el grado de mezcla se controla con la potencia de la turbina, que es

Ilustración C.6 Aireadores superficiales tipo turbina



independiente del caudal de aire. Las variables principales a considerar son el caudal del aire, el diámetro y velocidad de la turbina o rotor. Estas variables definen el tamaño de la burbuja y el grado de agitación en el tanque, que afectan directamente al coeficiente de transferencia de oxígeno (Ramalho, 1991).

La eficiencia de la transferencia puede ser de 1.1 a 2.1 Kg O₂/(kW h) y el coeficiente de transferencia del 5 al 15 por ciento, dependiendo del mezclador y de la geometría del reactor (Metcalf y Eddy, 2003).

Aireadores superficiales

Estos equipos solo se fundamentan en el arrastre del aire atmosférico, basándose en la succión del agua hacia arriba por un rotor dentro de un tubo vertical colocado en la parte inferior de la unidad y siendo luego esparcida hacia el exterior (Ilustración C.7 e Ilustración C.8).

La capacidad de transferencia de oxígeno es de 1.5 a 1.1 kg de O₂/(kW h) (Romero, 2005), y ésta se consigue por dos mecanismos:

- De turbulencia: transferencia en la superficie turbulenta del agua

- De dispersión: transferencia a las gotas esparcidas por las palas de la unidad

Debido a la evaporación de las gotas de agua esparcidas, hay una disipación considerable de energía.

Lo que genera un descenso en la temperatura del agua, la cual deberá ser tomada en cuenta en lugares épocas frías (Ramalho, 1991).

Aireadores horizontales (Cepillos)

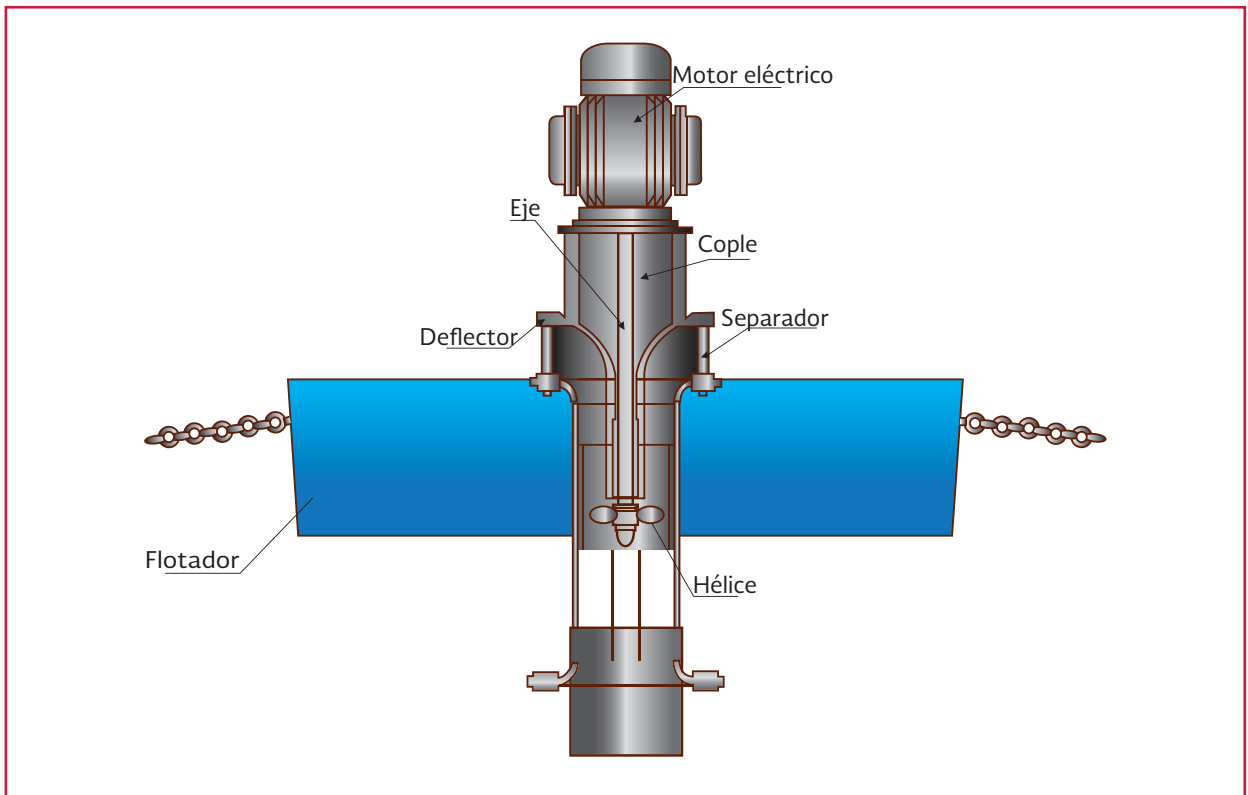
Es un aireador superficial usado en zanjas de oxidación, y tiene forma de un cepillo o peine que hace mezclar y salpicar el agua mediante una rotación. La capacidad de mezcla y de aireación depende de la sumergencia y de la velocidad de rotación. Esta unidad saca el agua desde abajo y la pone en contacto con el aire (Ilustración C.9). Las tasas de oxigenación van de 1.5 a 1.1 kg de O₂/(kW h) y tiene un eficiencia de transferencia de momentum del motor de 50 por ciento en velocidad del agua en la zanja.

Se recomienda para asegurar una velocidad y mezcla apropiada, que la zanja no sea de un volumen mayor a 200 m³/m de rotor (Romero, 2005).

Ilustración C.7 Aireador superficial flotante de eje vertical y alta velocidad, con impulsor



Ilustración C.8 Aireador superficial



Aireadores aspirantes

Los aireadores tipo cañón poseen un eje hueco largo de 1.2 m, con un motor eléctrico en un extremo y una hélice en el otro, la cual aspira el aire atmosférico, hacia el eje. La velocidad del aire y de la hélice crean turbulencia y forman burbujas pequeñas, desde las cuales se disuelve el oxígeno (Ilustración C.9).

Generalmente se instalan con ángulos variables de inclinación, sobre flotadores, en tanques de aireación o zanjas de oxidación. Estos equipos tienen capacidades de transferencia de oxígeno de 0.5 a 1.1 kg de O_2 /(kW h) en campo (Romero, 2005). En la actualidad se han desarrollado algunos equipos autoaspirantes más pequeños con eficiencias de transferencia de oxígeno bastante competitivas. A continuación se describen algunos de estos equipos. Los aireadores sumergibles autoaspirantes (Ilustración C.11) se colocan en el fondo del tanque sin necesidad de anclajes, por lo que puede instalarse con tanque lleno o sacarlo sin necesidad de vaciarlo. El aireador se caracteriza por un nivel de ruido muy bajo y por no producir ningún efecto de aerosol. El equipo produce burbujas muy finas y una buena transferencia de oxígeno que es de hasta 80 kg O_2 /h, con potencia máxima de 75 Kw (1.07 kg de O_2 /(kW h))

, generando una buena mezcla. Estos son utilizados en procesos de lodos activados de flujo continuo, rectores secuenciales por lotes, tanque de almacenamiento de lodos o incluso en tanques de regulación y pueden ser colocados en profundidades de 2 a 8 metros.

El *venturi-jet* (Ilustración C.12) es empleado para la agitación de aguas residuales que contengan basura, despojos, efluentes orgánicos industriales, lodos, etc., o puede ser colocado en tanques de regulación para prevenir condiciones anaerobias y malos olores. Puede ser empleado en trabajos de emergencia o de aireación intermitente. Su diseño está basado en el principio de inyección que genera una mezcla efectiva aire agua creando una óptima aireación y suspensión de sólidos.

C.4.2. AIREADORES DE AIRE A PRESIÓN

Dentro de estos sistemas de aireación se encuentran los equipos sumergibles, los eyectores y los difusores.

a) Aireadores sumergibles

Este equipo de aireación es conocido en el mercado como aireador-mezclador OKI (Ilustración

Ilustración C.9 Aireadores superficiales



Ilustración C.10 Aireador de cepillo

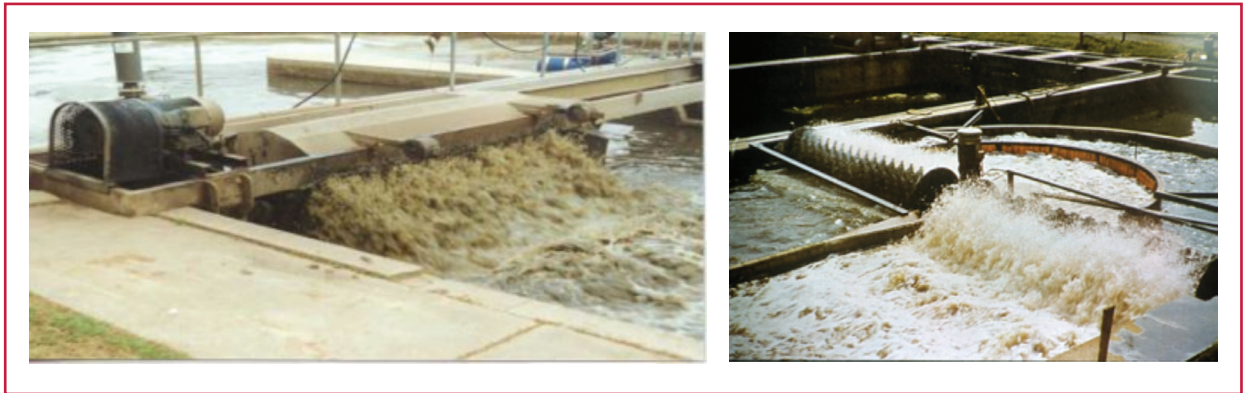
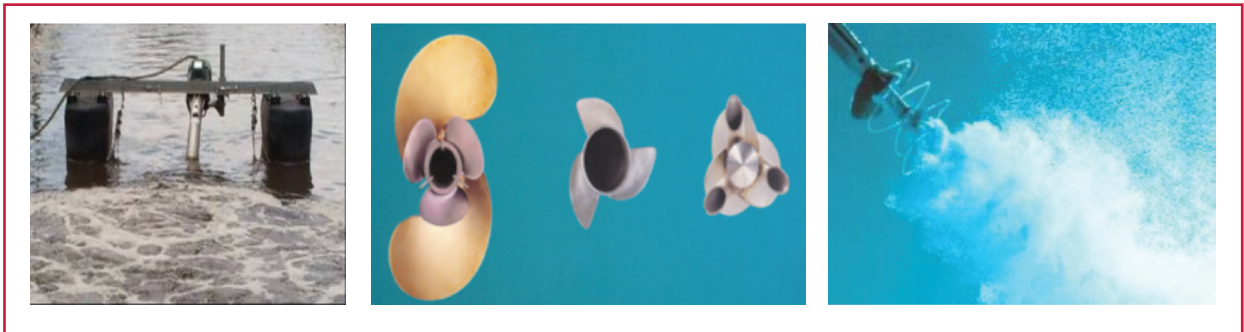


Ilustración C.11 Aireador tipo cañon



C.12) y a continuación se detallan sus características:

- Requiere un suministro de aire a través de un soplador
- Puede operar de manera intermitente
- Proporciona aireación y mezcla al mismo tiempo
- No presenta taponamientos
- Puede trabajar en profundidades de más de 20 m
- Se puede sacar sin parar el proceso para darle mantenimiento
- Se puede suministrar solo oxígeno
- Se puede emplear en diversos procesos biológicos

Dependiendo del modelo y las necesidades de aireación existen en el mercado con capacidades de 3 a 37 kW con una transferencia de oxígeno de 19 a 200 kg/hora.

Este equipo no puede ser empleado en reactores que cuenten con un tirante de agua menor a 4 m, debido a que disminuye la transferencia de oxígeno y se incrementa el consumo de energía.

Aireadores tipo jet

Dentro de la categoría de estos equipos de aireación se encuentran los de una sola dirección, de dos direcciones y los radiales.

Ilustración C.12 Aireador sumergible autoaspirante

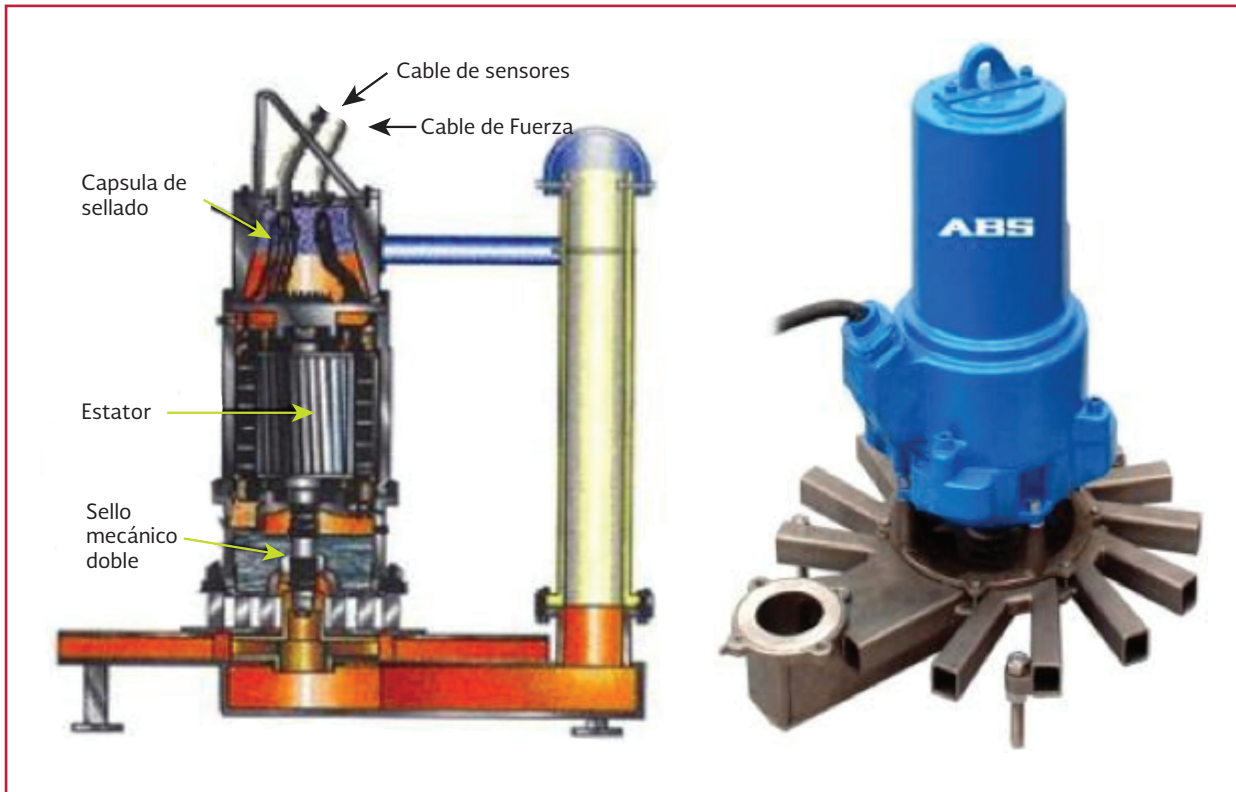


Ilustración C.13 Aireador Venturi Jet



Los de una sola dirección tienen un arreglo de boquillas lineal a lo largo del cabezal que transporta el agua, así el flujo es direccionado en un solo sentido. Es ideal para instalaciones que se colocan en la pared o a lo largo del tanque. (Ilus-

tración C.14) También pueden ser empleados en serie para tanques circulares (Ilustración C.15).

El sistema puede ser empleado en zanjas de oxidación (Ilustración C.16) y en lagunas de

Ilustración C.14 Aireador mezclador OKI



Ilustración C.15 Una dirección



Ilustración C.16 En serie



aireación. El hecho de que son boquillas colocadas sobre el tubo de descarga de agua permite realizar diversos arreglos, en serie para crear circulación de agua, encontrados para generar un movimiento circular.

Se existe un arreglo en serie en canales o zanjas, la descarga de la boquilla crea un movimiento que se combina con el anterior creando una corriente de agua y proporcionando un máximo mezclado. Se cuenta con sistema bidireccional en donde las boquillas están colocadas en ambos lados del cabezal del agua de entrada, así el agua fluye en dirección contraria, creando una buena mezcla y aireación en el tanque con el mínimo de equipo (Ilustración C.17). Este sistema es empleado en

procesos de lodos activados con tanques rectangulares o circulares, en donde el ancho o diámetro no debe ser superior a los 18 metros.

Ilustración C.17 Zanja de oxidación



Otro tipo de aireadores son los que presentan un arreglo radial de boquillas alrededor de una cámara común (Ilustración C.19), que suministra aire y agua al mismo tiempo por la parte superior o el agua por la parte superior y el aire por abajo. Generalmente tienen 12 boquillas colocadas en un ángulo de 30 grados, que crean una pluma individual de mezcla. Estos pueden ser instalados en tanques cuadrados o circulares sin afectar su desempeño y son empleados en procesos de lodos activados, digestión de lodos, recarbonatación y oxidación química.

Ilustración C.18 Aireador bidireccional en tanque circular

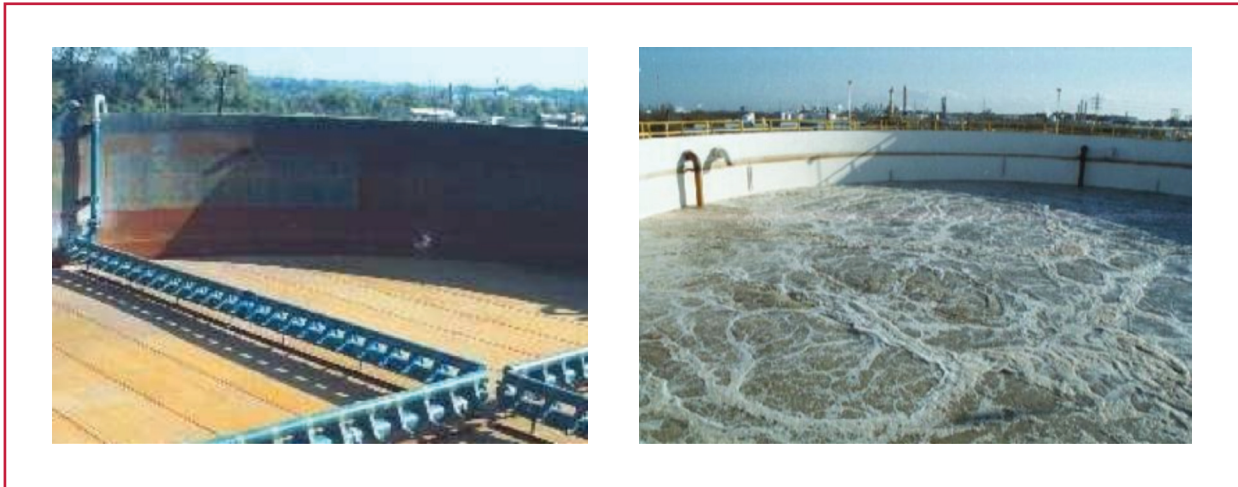


Ilustración C.19 Aireador radial



Aireación por difusión

La aireación por difusión ha sido empleada en tratamiento de aguas residuales desde principios de siglo. Los primeros sistemas introducían aire a través de tubos abiertos o de tuberías perforadas colocadas en el fondo del aireador. El deseo de mejorar la eficiencia llevó al desarrollo de difusores de placa porosa que producen pequeñas burbujas y se obtienen altas eficiencias en la transferencia de oxígeno.

La aireación por difusión es definida como la inyección de gas (aire u oxígeno) a presión bajo la superficie líquida. La industria del tratamiento de aguas residuales ha introducido una gran variedad de equipos de difusión de aire, y su uso les ha ganado renovada popularidad debido a la relativamente alta eficiencia de transferencia de oxígeno mostrada. Se han utilizado numerosos materiales para su fabricación: rígidos de cerámica o plástico y flexibles de plástico. De acuerdo con su forma se pueden encontrar difusores de disco (Ilustración C.20) tubo (Ilustración C.21), panel (Ilustración C.22) y placa (Ilustración C.23).

Ilustración C.20 Difusor de disco



Ilustración C.22 Difusor de panel



Actualmente la tendencia en el diseño de sistemas de aireación es el empleo de difusores de burbuja fina en forma de disco, así un diseño típico establece que la densidad de difusores, en relación al área, va del 2.5 al 25 por ciento. Una mayor densidad (Ilustración C.24) favorece una mejor distribución de la burbuja (aire) (Ilustración C.25) y por lo tanto una mejor mezcla.

El tamaño de burbuja es muy importante (Ilustración C.26) debido a que entre más pequeña su velocidad ascendente será más pequeña y por tanto su tiempo de residencia en el reactor será

Ilustración C.21 Difusor de tubo



Ilustración C.23 Difusor de placa



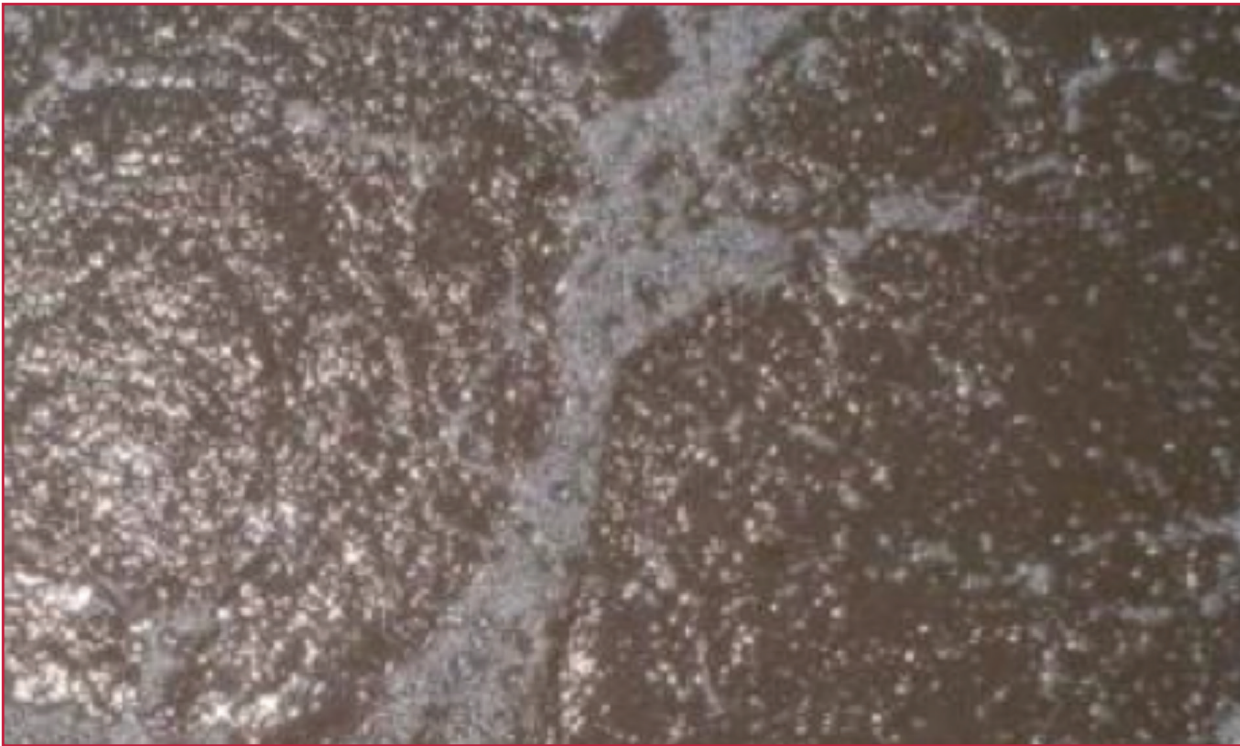
Ilustración C.24 Densidad de difusores



Ilustración C.25 Distribución de burbuja



Ilustración C.26 Burbuja fina



más grande, lo que beneficia a los microorganismos ya que podrán aprovechar mejor el oxígeno suministrado. Para una burbuja de 5 mm de diámetro la velocidad ascendente es de 0.5 m/s para una de 3 mm de 0.3 m/s y para una de 1 mm de 0.15 m/segundo.

Un sistema de aireación de burbuja fina está compuesto por:

- Un cabezal principal de distribución de aire
- Un cabezal de difusores

- Difusores
- Soportes de montaje de cabezales
- Línea de cerrado de cabezales y línea de dren de agua

En la Ilustración C.26, Ilustración C.27 e Ilustración C.28 se muestra un ejemplo de estos componentes.

En la Tabla C.3 se describen los principales factores que afectan la transferencia de oxígeno cuando se emplean difusores.

C.4.3. SOPLADORES

Un soplador es un mecanismo de una o varias etapas diseñado para producir grandes volúmenes de aire o gas a una presión cercana a la atmosférica. Un compresor se clasifica como un mecanismo diseñado para producir pequeños volúmenes de aire a altas presiones. Ambas máquinas

realizan la misma función; la aplicación y rangos de presión son la diferencia entre soplador y compresor.

Los sopladores son la mayor fuente de consumo de energía en plantas de lodos activados. Cualquier intento por minimizar el consumo de energía incide directamente en los costos directos de la planta. La adecuada operación de un soplador y el sistema de aireación pueden llevar a altas eficiencias en el uso de los equipos.

El soplador surgió del diseño de una rueda de agua creada por los hermanos Roots para su molino textil (1854). El diseño original consistía de dos impulsores de madera girando uno en contra del otro dentro de una carcasa de madera. Al llenarse de agua, el aparato no pudo bombear esta, pero al hacerla girar en seco, se dieron cuenta que movía una gran cantidad de aire y fue entonces que nació el soplador de desplazamiento

Ilustración C.27 Componentes de un sistema de aireación

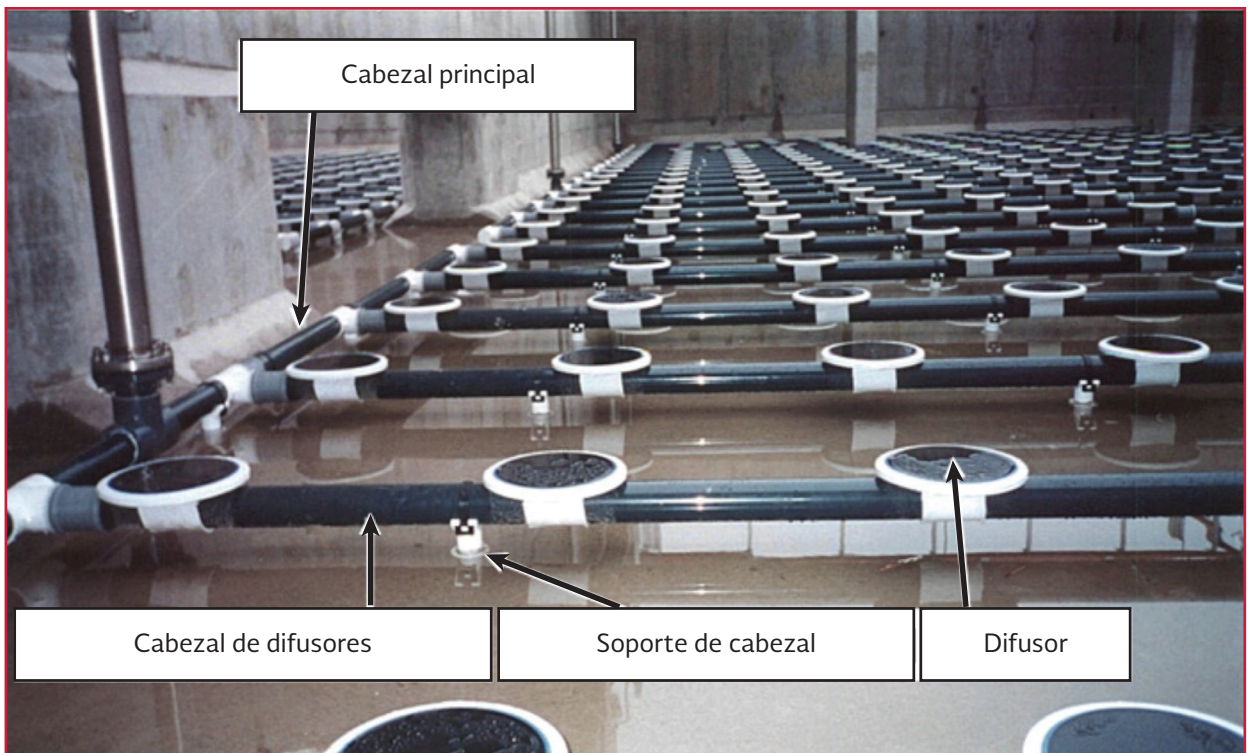
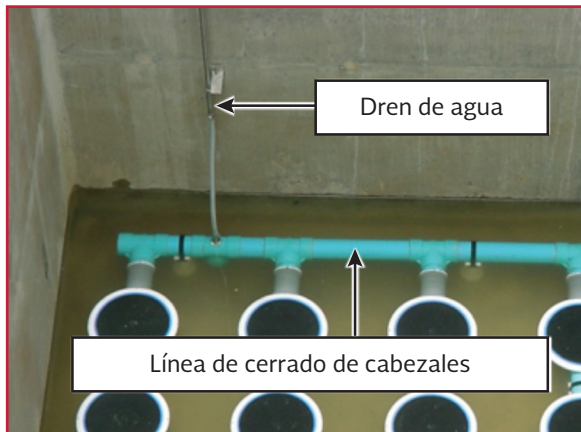


Ilustración C.28 Línea de cerrado



FUENTE: Grupo ABS 2009

Ilustración C.29 Dren de agua

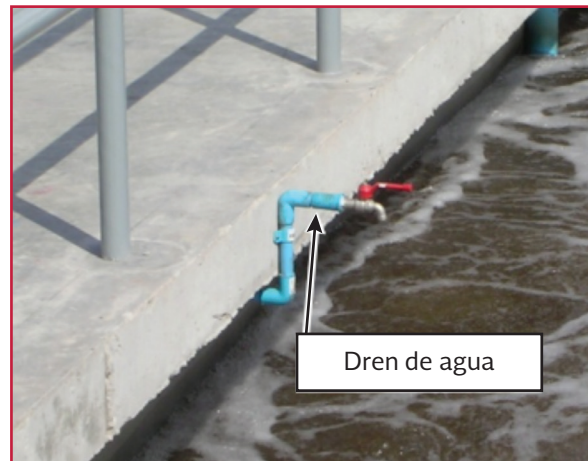


Tabla C.3 Factores que afectan la transferencia de oxígeno con difusores

Factor	Efecto sobre la transferencia de oxígeno
Equipo	
Tipo de difusor	Los de burbuja fina tienen mejor transferencia de oxígeno que los de gruesa.
Densidad de difusores	Mayor número de difusores produce mayor transferencia de oxígeno
Sumergencia de los difusores	A mayor sumergencia mayor transferencia de oxígeno
Distribución de los difusores	Distribución en malla produce mayor transferencia que una colocada a lo largo de una pared o en el centro.
Edad del difusor	El envejecimiento de las membranas puede disminuir la transferencia de oxígeno
Regimen de flujo	Flujo pistón tiene mayor eficiencia de transferencia de oxígeno
Geometría del tanque	Tanques cuadrados tienen menor variación de transferencia de oxígeno que los rectangulares.
Operación	
Tiempo de retención	A mayor tiempo de retención, mayor transferencia de oxígeno
Nitrificación	Sistemas nitrificantes tienen mayor transferencia de oxígeno
Relación A/M	El aumento de A/M disminuye la transferencia de oxígeno
Flujo de aire por el difusor	En burbuja fina, a mayor flujo de aire menor transferencia de oxígeno. En otro puede suceder lo contrario
Oxígeno disuelto	A mayor concentración de oxígeno disuelto menor transferencia de oxígeno
Deterioro del difusor	Los daños del difusor deterioran la transferencia de oxígeno
Características del agua	
Temperatura	Un incremento en la temperatura del agua disminuye la transferencia del oxígeno
Detergentes	Disminuyen la transferencia de oxígeno.

FUENTE: Romero, 2005

miento positivo. Desde entonces, el diseño se convirtió en un invento para mover cantidades conocidas de aire, llamándosele Soplador Rotatorio de Desplazamiento Positivo.

Debido a que los hermanos Roots fueron los inventores, se le denominó técnicamente soplador de tipo Roots. Existen dos tipos de sopladores comúnmente utilizados en plantas de tratamiento, los de desplazamiento positivo y los dinámicos. Los de desplazamiento positivo funcionan comprimiendo un volumen fijo de aire (gas) y encerrándolo para elevar la presión. Los dinámicos funcionan con impulsores que imparten velocidad y presión continua al aire.

De estos los más empleados y/o fabricados son los de lóbulos y los centrífugos. Como su nombre lo indica, estas máquinas mueven el aire que queda atrapado entre los espacios que existen entre los elementos en rotación, rotores o impulsores.

El aire es introducido a la máquina por efecto de la presión atmosférica, es llevado a través del espacio del rotor o impulsor y la carcasa hasta el punto de descarga, donde se comprime para vencer la presión que se le está presentando.

Las moléculas de aire a presión atmosférica ocupan un volumen que varía de acuerdo al valor de esta y al ser comprimidas, estas moléculas se aproximan más unas a otras, incrementándose la fricción entre ellas produciéndose un incremento de temperatura. Entre más próximas estén las moléculas unas a otras, mayor calor generado o sea que a mayor presión mayor calor producido a la descarga del soplador.

Al realizarse esta compresión brusca, cada porción de aire que se desplaza entre la cavidad del rotor y la carcasa cambia bruscamente de volumen a la salida del soplador, siendo tan rápido este cambio que se alcanza una velocidad supersónica produciéndose el sonido característico de cuando se rompe la barrera del sonido. Esta es la causa de que estas máquinas sean muy ruidosas y se requieran de silenciadores en la succión y en la descarga de estas.

Como desplazan un volumen constante de aire por cada revolución de los rotores, se les denomina máquinas de desplazamiento positivo. A mayor velocidad, mayor desplazamiento. En este punto, podemos resumir lo siguiente:

- A mayor presión en la descarga del soplador, mayor temperatura
- A mayor presión en la descarga del soplador, mayor ruido
- A mayor velocidad de giro de los rotores, mayor desplazamiento de aire

Estos conceptos son útiles para determinar la correcta selección del soplador. Las aplicaciones más comunes son:

- Plantas de tratamiento de agua residual
- Plantas de tratamiento de agua potable
- Descarga de camiones de productos a granel (cemento, pellets de plástico)
- Colectores de polvo
- Supercargadores para motores de combustión interna
- Lavado de alfombras
- Petroquímica
- Cervecerías

- Mataderos y procesamiento de Aves
- Lecherías en máquinas de ordeño
- Muchas más donde se requiera de aire limpio, sin aceite a presiones moderadas

Se debe comprender que no existe una máquina a prueba de fallos debidos a causas ajenas a la misma, por tal motivo el proceso de selección es de extrema importancia para lograr la selección de un equipo que dé una larga vida de trabajo sin problemas.

Para una correcta selección del equipo se requieren los siguientes datos:

- Altitud sobre el nivel del mar a la que se va a instalar el soplador
- Temperatura **máxima** del lugar de trabajo, específicamente con valores y nunca temperatura ambiente, que no dice nada ya que el ambiente puede variar considerablemente si el soplador trabajará en el trópico, en la montaña o en Mexicali
- Temperatura del aire a la entrada del soplador
- Presión requerida a la descarga del soplador

Condiciones estándar a las cuales todos los sopladores están referidos:

- Temperatura: 21°C
- Presión: 14.7 psia ó 0 psia a nivel del mar
- Altitud: a nivel del mar

Todos estos cálculos son necesarios para hacer una correcta selección de un soplador pero todo esto no sirve si no se tienen los datos correctos y la aplicación correcta de estas máquinas.

Los fabricantes de sopladores han desarrollado programas de selección que incluyen todos los parámetros anteriores facilitando, así el cálculo para obtener el equipo adecuado a las necesidades requeridas, un ejemplo es, el programa BlowerXpert de la empresa Tuthill Corporation que es gratuito. Fuente: <http://www.conferen-cefair.com>, Conference Fair 2008.

Una vez que se conozcan los datos del soplador específico se puede calcular el flujo necesario para transmitir toda clase de gases bajo varias condiciones operativas. Cada vuelta del rotor produce el desplazamiento y la compresión del llamado volumen del cangilón Q_o (litro/vuelta). El volumen de cangilón muestra una constante para cada tamaño del soplador. Esto produce una capacidad teórica.

$$Q_o = \frac{nq_o}{1000} (m^3 / \text{min}) \quad \text{Ecuación C.1}$$

La capacidad actual se obtiene de la deducción de la cantidad de gas Q_v menos los espacios de la capacidad teórica:

$$Q_1 = Q_o - Q_v (m^3 / \text{min}) \quad \text{Ecuación C.2}$$

La eficiencia volumétrica es:

$$\eta_v = \frac{Q_1}{Q_o} = 1 - \frac{Q_v}{Q_o} \quad \text{Ecuación C.3}$$

La eficiencia bajo las condiciones de funcionamiento es muy favorable, ya que las tolerancias de los rotores se mantienen muy ajustadas.

El volumen de rendimiento varía muy poco con los cambios en carga. La potencia necesaria para

comprimir el gas en condiciones de entrada es, teóricamente:

$$P_{th} = \frac{Q_o \Delta p}{600} \quad \text{Ecuación C.4}$$

Esta potencia se debe incrementar para compensar la fricción mecánica en los cojinetes, engranajes de sincronismo, componentes herméticos, así como las pérdidas dinámicas que ocurran en la entrada y salida del soplador y la cámara de transporte. La potencia necesaria en el acoplamiento del soplador es:

$$P_k = P_{th} + P_v (kW) \quad \text{Ecuación C.5}$$

La potencia teórica es independiente del tipo de gas implicado y directamente proporcional al diferencial de presión y la velocidad del soplador. La potencia absorbida cuando funciona sin carga es casi igual a la pérdida de potencia P_v , ya que no interviene ninguna compresión interna. Esto representa aproximadamente el 3 del 5 por ciento de la valoración de potencia de carga completa transmitida por medio del acoplamiento. Debido a la suma de todas las tolerancias de fabricación, el consumo de potencia y el volumen de corriente de consumo puede mostrar una tolerancia de ± 5 por ciento.

La reducción de ruido para los sopladores de émbolos rotativos es necesaria debido a las necesidades cada vez más severas de medio ambiente. Para reducir el ruido desde el origen se han desarrollado los sopladores trilobulares.

El fin se logró mediante el desarrollo de los sopladores de émbolos rotativos con reducción de pulsación integrada. El soplador se equipó con el canal de pre-entrada cuyo tipo, tamaño y posición se ha determinado de forma experimental.

Con los émbolos rotativos trilobulares se producirá una entrada más suave hacia la parte de impulsión y el pulso habitual de la corriente de retorno alcanza la cámara de transporte de forma un poco más débil. Pero todavía existe una segunda fuente de ruido en los sopladores. Es el llamado pulso de presión que aumenta cuando el pistón principal de uno de los émbolos desciende en la pendiente del otro. Debido a la posición y la forma de la pre-entrada de las cámaras, la posición de fase y la amplitud se pueden conectar con el fin de que se solapen la una a la otra. Naturalmente, esto en la práctica no se puede conseguir al 100 por ciento. Sin embargo, las pruebas han demostrado que se ha alcanzado una reducción de ruido de 20 dB. Los sopladores de émbolos son máquinas de ejes rotativos gemelos. Los dos rotores se han colocado de forma axial en paralelo el uno del otro y centrados en la carcasa. Los engranajes de sincronismo aseguran que los rotores giren sin hacer contacto. Los rotores se montan sobre cojinetes de bolas y rodillos.

Con el fin de conseguir un rendimiento elevado se ha mantenido unas tolerancias entre los rotores muy ajustadas, basado en la presión diferencial y la carga térmica bajo condiciones de funcionamiento. En caso de los sopladores de mayor tamaño, las tolerancias de los cojinetes y la desviación del eje tienen una influencia sobre el espacio. Los espacios más grandes entre los rotores y el final de las placas laterales compensan la expansión térmica axial en el final de los cojinetes flotantes.

Sopladores de desplazamiento positivo

El principio de operación en este tipo de sopladores es que dos o tres impulsores lobulares en forma de ocho montados o trébol en ejes

paralelos rotan en direcciones opuestas. Cuando cada impulsor pasa el área de entrada, el impulsor atrapa un volumen definido de aire y lo lleva dentro de la carcasa hasta la salida del soplador en donde el aire es descargado (Ilustración C.30). Con operación de velocidad constante el volumen desplazado es esencialmente el mismo sin tener en cuenta presión, temperatura, o presión barométrica. Engranajes de sintonía controlan las posiciones relativas de los impulsores y mantienen pequeños pero distintos intersticios. Esto permite la operación sin la necesidad de lubricación dentro de la carcasa de aire. La configuración de tres lóbulos provee pulsaciones reducidas y menores niveles sonoros (Ilustración C.31), mientras la versión de dos lóbulos provee una eficiencia ligeramente mayor y montaje versátil.

Los sopladores de desplazamiento positivo son los caballitos de batalla de la industria. La mayoría de las plantas de aguas residuales pequeñas y me-

dianas operan con sopladores de desplazamiento positivo, los cuales tienen un rango útil de 2 500 Scfm (4 300 Sm³/h) por soplador a presiones de 14.5 psia (1 Bar).

Los sopladores de desplazamiento positivo (DP) pueden ser relativamente ruidosos y no requieren de mantenimiento regular para lubricación de cojinetes, cambio de cartuchos de filtros de entrada, tensionado y reemplazo de correas. El ruido del soplador puede ser reducido a través del uso de cabinas acústicas y silenciadores de cámara adecuadamente seleccionados, aunque se debe tener en mente el ruido aéreo que puede aparecer en la tubería del área de trabajo a velocidades de flujos y niveles de pulsación más altos. (Ilustración B.32)

A continuación se describe la operación de un soplador, así como los componentes del mismo (Tabla C.4) y en la Tabla C.5 las especificaciones de operación de algunos modelos.

Ilustración C.30 Principio de operación

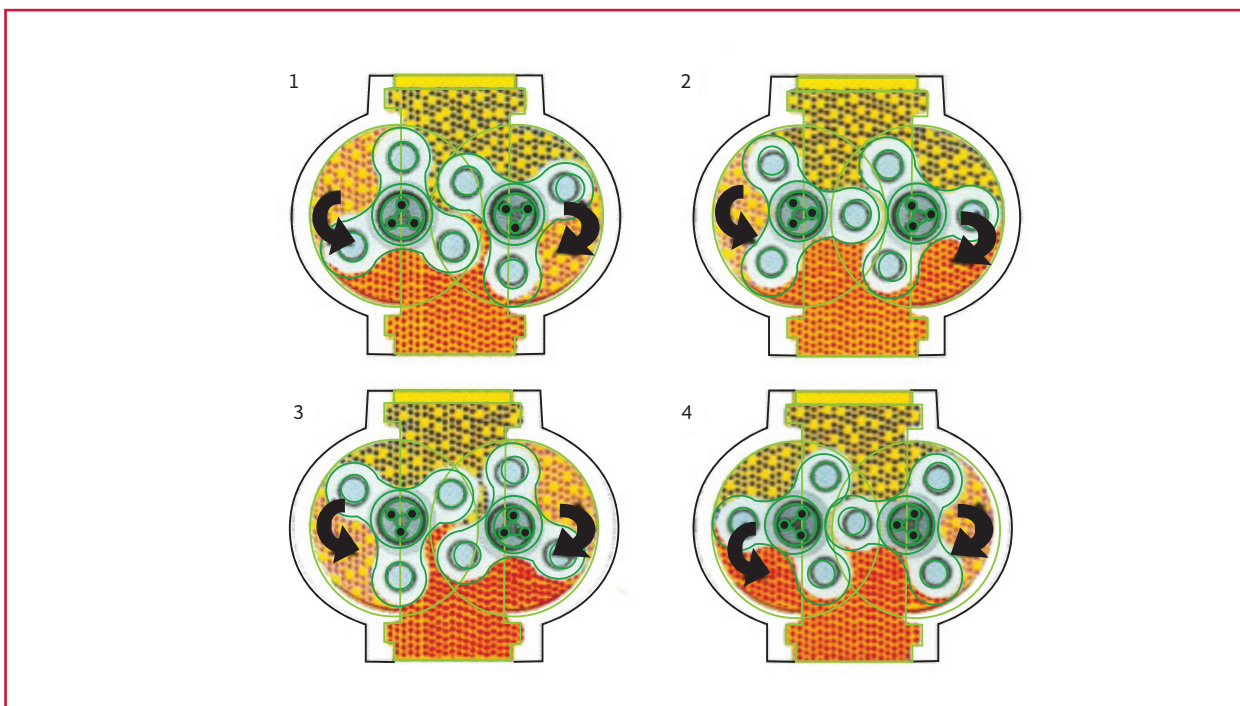
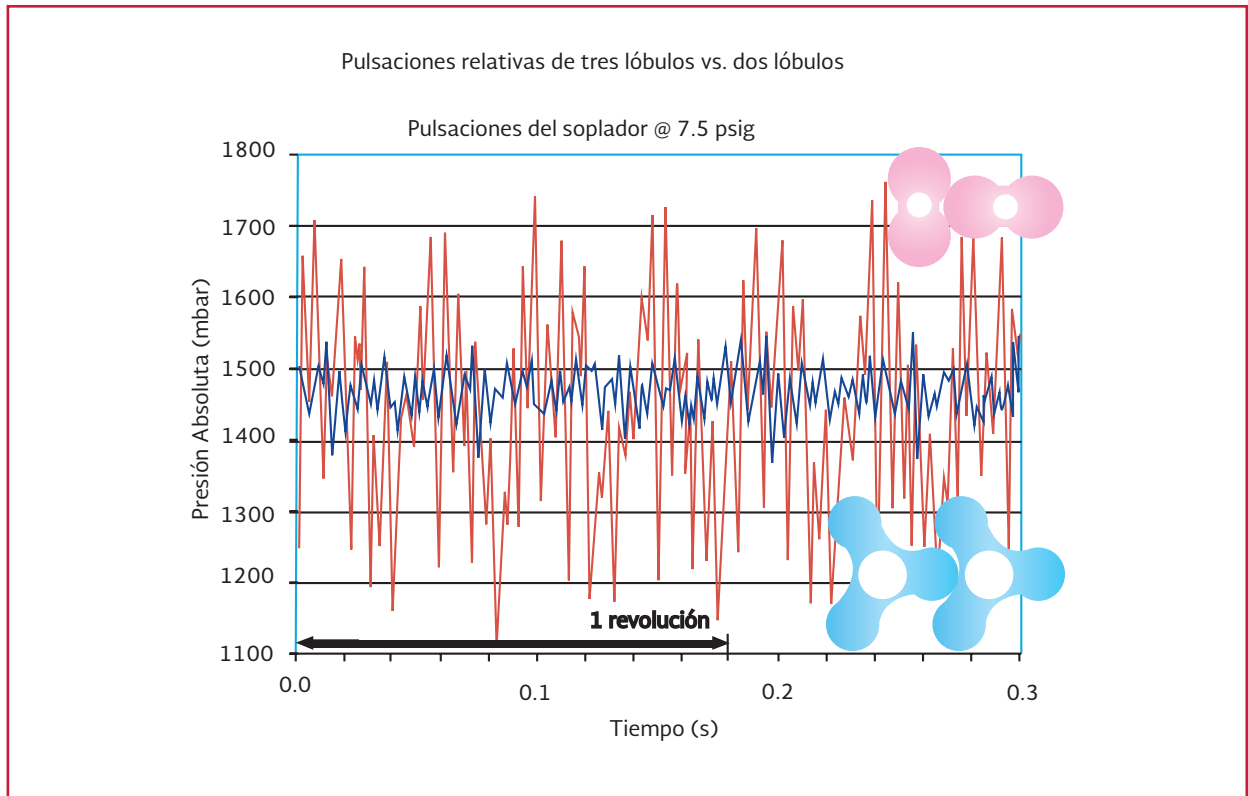


Ilustración C.31 Pulsaciones relativas



Las especificaciones nominales están con aire de entrada a una temperatura estándar de 20°C, presión de 1 atm y una gravedad específica de 1.

Sopladores Centrífugos

Los sopladores centrífugos multietapa son recomendables para plantas más grandes que requieren más de 2 500 Scfm (4 300 Sm³/h) (Ilustración C.33). Los sopladores centrífugos multietapa operan con relativo silencio comparado con los sopladores DP, con mantenimiento

similar, ya que todo está relacionado con la lubricación y los filtros, aunque generalmente son de impulsión directa vs los DPs que son impulsados por banda.

A continuación, en la Tabla C.6, se describen las partes que componen un soplador centrífugo y las especificaciones de operación. En la Ilustración C.34 se presenta el rendimiento de un soplador centrífugo de una etapa.

Tabla C.4 Operación de un soplador

El aire es aspirado y filtrado a través del filtro silenciador de admisión (1).	
El aire ingresa al soplador (2) donde es atrapado entre los lóbulos de los rotores y la carcasa y es desplazado al puerto de descarga. El diseño de tres lóbulos minimiza las pulsaciones y además la carcasa posee puertos para ecualizar la presión.	
El auto tensionador (3) de la tensión apropiada a las bandas (4) para prolongar la vida de los rodamientos.	
El silenciador de descarga absorbe pulsaciones residuales y ruido a través de una amplia banda de frecuencias.	
Una válvula de arranque en vacío opcional (5) permite la aceleración del motor (6) antes que el sistema sea presurizado y reduce el impacto a equipos y procesos bajo agua.	
Una válvula de alivio (7) protege al soplador de sobre presurización.	
Una válvula de retención previene el retorno del flujo del gas de proceso.	
Una sólida base metálica (8) permite el manejo fácil.	
Rodamientos	Lubricación por salpicadura
Sellado tipo anillo de pistón	Rotores
Engranajes	
Filtro de admisión lavable	Montaje antivibratorio
Silenciador	Bastidor oscilante para el motor
Indicador de contaminación del filtro	Auto tensionador de bandas
Soplador rotativo	Motor
Base	Conector flexible (no mostrado)
Combinación de silenciador de descarga/atenuador de pulsaciones	Ductos de acero inoxidable para el drenado de aceite con válvulas tipo bola

Ilustración C.32 Sopladores de lóbulos en operación



Ilustración C.33 Soplador centrífugo

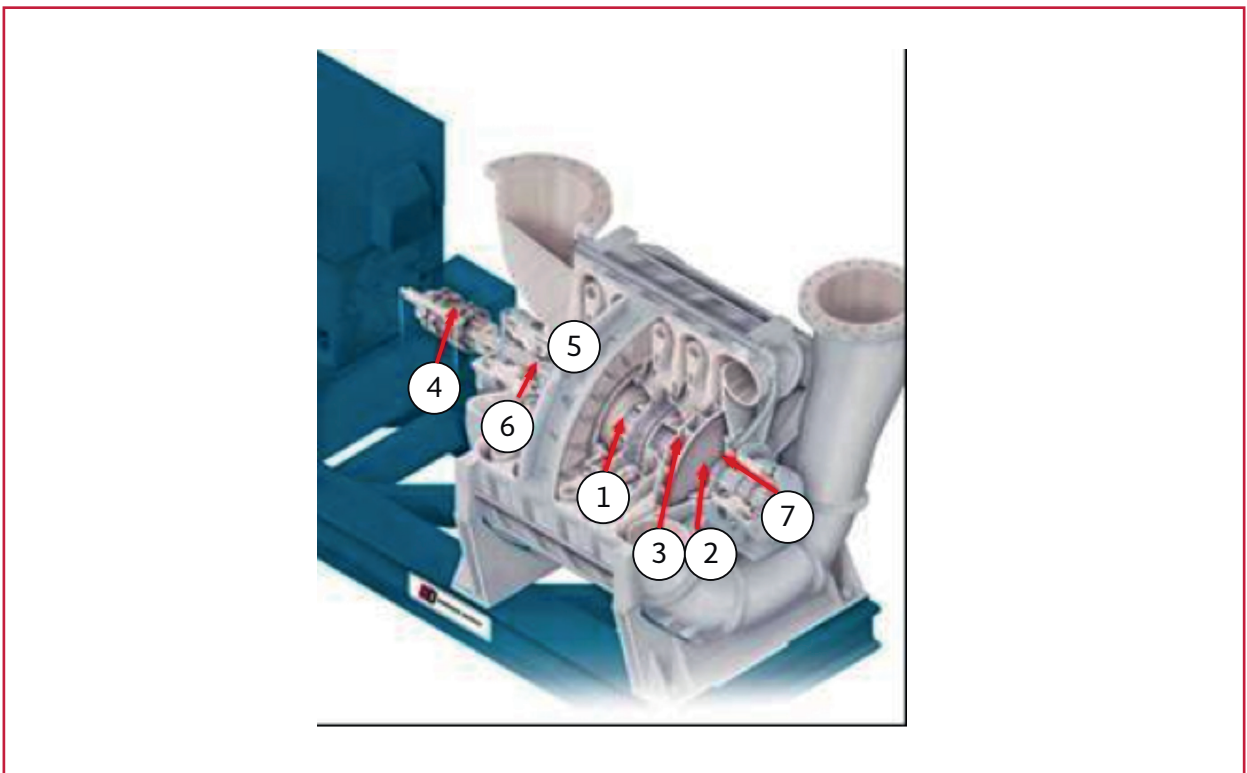


Tabla C.5 Especificaciones de rendimiento

Modelo	Con.	RPM	4 psig		6 psig		8 psig		10 psig		12 psig	
			cfm	bhp	cfm	bhp	cfm	bhp	cfm	bhp	cfm	bhp
Soplador Omega de dos lóbulos												
Omega 21	2" NPT	2 000	47	1.4	43	8.0	39	8.6	36	3.2	-	-
		3 200	87	8.2	83	3.1	79	4.0	76	5.0	73	5.9
		4 400	127	3.0	123	4.2	119	5.5	116	6.8	113	8.1
		5 600	167	3.8	163	5.4	159	7.0	156	8.7	153	10.3
Omega 42	4" NPT	1 000	102	8.9	92	4.1	84	5.4	76	6.7	70	8.0
		2 000	248	5.5	238	8.1	230	10.6	222	13.2	216	15.7
		3 600	481	10.0	471	14.6	463	19.1	456	23.7	449	28.3
		4 400	598	18.3	588	17.9	580	23.5	572	29.1	566	34.7
Omega 83	12" FLG	1 200	2 579	53.4	2 521	78.1	2 473	108.9	2 430	127.6	2 391	188.3
		1 500	3 288	67.2	3 230	98.2	3 182	129.1	3 139	160.0	3 100	190.9
		1 800	3 996	81.6	3 939	118.7	3 890	155.8	3 847	198.9	3 808	229.9
		2 000	4 469	91.7	4 411	138.8	4 362	174.1	4 320	215.3	4 281	256.5
Soplador Omega de dos lóbulos												
Omega 21P	2" NPTF	2 000	42	1.6	38	8.1	34	8.6	31	3.2	-	-
		3 200	78	8.4	74	3.2	71	4.1	67	4.9	65	5.8
		4 400	115	3.2	111	4.4	107	5.6	104	6.7	10	7.9
		6 200	169	4.7	165	6.3	162	8.0	159	9.6	156	11.2
Omega 42P	2" NPTF	1 000	131	4.0	117	5.6	106	7.3	97	8.9	88	106
		2 000	320	7.6	307	10.9	296	14.2	286	17.5	277	208
		3 200	547	18.5	534	17.8	523	23.1	513	28.4	504	330.7
		4 500	793	18.7	780	26.2	769	33.6	759	41.0	750	48.4
Omega 84P	12" ANSI	1 200	2 516	53.6	2 448	78.2	2 390	108.8	2 340	127.4	2 294	151.9
		2 000	4 396	99.4	4 328	140.4	4 270	181.4	4 219	228.4	4 171	263.1
		2 500	5 570	133.7	5 502	184.9	5 445	236.2	5 394	287.4	5 349	338.3

Ilustración C.34 Rendimiento de un soplador centrífugo de una etapa

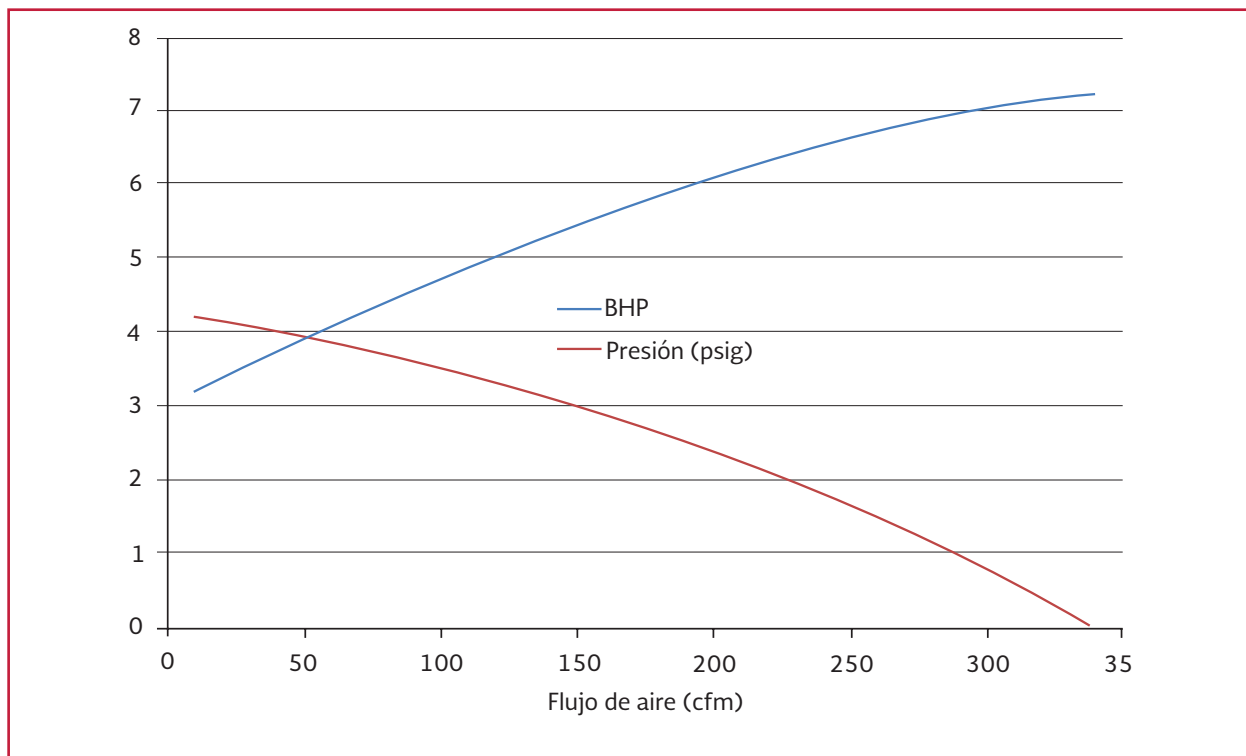


Tabla C.6 Especificaciones de operación de algunos modelos

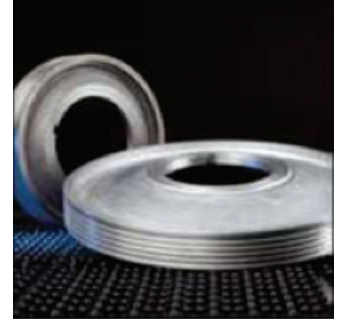
1. Anillos baffle múltiple

Muchos modelos tienen nuestros anillos baffle múltiple (MBR™) que ayudan al aire a fluir suavemente dentro del ojo de la propela, reduciendo dramáticamente las pérdidas en la entrada. MBR combinado con el diseño de propela doble-dimensional se incrementa la eficiencia y la capacidad de presión/vacío.



2. Pistón de balance

Un pistón de balance se coloca al final del conjunto de propelas para compensar la fuerza axial de las propelas en el rodamiento interno. Esto incrementa en gran medida la vida del rodamiento trabajando sin problemas.



3. Propelas cubiertas multietapa

Propelas de aluminio doble dimensional cubiertas son balanceadas individualmente y fijadas al eje por medio de cuñas. El ensamble completo se balancea para alcanzar una suave operación con la más baja vibración en la industria. El conjunto del rotor está diseñado para operar bien bajo velocidades críticas agregando confiabilidad.



4. Juntas flexibles

Sopladores/extractores se conectan directamente a la fuente de poder con un acople flexible alineado en forma precisa.

Esto optimiza la transferencia de poder y minimiza la carga sobre los rodamientos.



5. Carcasa fundida

Las carcasas de los sopladores son fabricados de hierro fundido de alto grado. Modelos más pequeños son de aluminio. Las secciones intermedias del soplador son ensambladas usando barras de acero de alta dureza. El soplador y su motor son acoplados juntos en una base única de acero. Esto para asegurar una mayor durabilidad y un mejor desempeño.



Tabla C.6 Especificaciones de operación de algunos modelos (continuación)

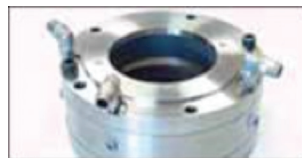
Sellos laberinto

Sin contacto, los sellos de aire tipo laberinto son estándar. Este sello libre de mantenimiento se usa en la mayoría de aplicaciones de aire y algunas de gas (opción de purga disponible).



Sello con anillo de carbón

Para aplicaciones especiales de aire o gas donde requieren un mejor sellado, los sellos de carbón son opcionales con alternativa de purga.



D

COMO FORMULAR UN MANUAL DE OPERACIÓN

Por definición, del diccionario de la lengua española, se tiene;

Manual = Que se ejecuta con las manos. Libro en que se compendia lo más sustancial de una materia

Operación = Acción y efecto de operar

Operar = Obrar, trabajar, ejecutar diversos menesteres u ocupaciones. Maniobrar, llevar a cabo alguna acción con auxilio de aparatos

Por lo anterior se puede establecer entonces que un manual de operación es:

Libro que contiene los trabajos a ejecutar con las manos o con auxilio de aparatos

Tomando como premisa la definición anterior un manual de operación de una PTAR de lodos activado debe contener:

- Descripción breve del proceso
- Manera de ejecutar cada una de las tareas asignadas

- Consideraciones de operación
- Formatos o bitácoras para registro de operación
- Plano o diagrama de flujo lo más detallado que sea posible

D.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Esta debe contener:

- Ubicación
- La modalidad del proceso de lodos activados que se va a operar
- Parámetros de diseño, que contemple; calidad de agua de entrada y salida, caudal de agua mínimo, promedio y máximo
- Descripción breve de cada una de las operaciones unitarias
- Diagrama del proceso

La Tabla D.1 presenta un ejemplo de la descripción del proceso.

Tabla D.1 Ejemplo de la descripción del proceso de tratamiento

Descripción del proceso	
El sistema de tratamiento de la planta está dividido en cuatro áreas	
•	Una es el pretratamiento del agua residual el cual cuenta con dos rejillas y dos desarenadores
•	La siguiente es el tren de tratamiento secundario del agua residual integrado por dos zanjas de oxidación y cuatro sedimentadores secundarios o clarificadores
•	La tercera es el tratamiento terciario con un tanque de contacto de cloro
•	La última es el tratamiento de lodos compuesto por dos digestores de lodos biológicos y tres lechos de secado

Por lo anterior, es conveniente aclarar que la descripción del sistema, así como su operación se realizará tomando en consideración la división antes citada

Pretratamiento

El agua residual llega a un canal o cárcamo de llegada el cual tiene dos válvulas para controlar la entrada del flujo a la planta. La válvula de compuerta de demasías que desvía el exceso de agua residual, y la válvula de compuerta que regula la entrada del flujo de agua residual de la planta. Posteriormente el agua ingresa al cárcamo de bombeo y es conducida hasta los canales desarenadores por medio de las bombas sumergibles. Existen dos canales desarenadores, uno en operación y otro en espera o limpieza. Al inicio del canal hay dos compuertas que sirven para seleccionar el canal que entra en operación. Después de estas compuertas el agua residual pasa por rejillas gruesas, donde se retira la basura que entra a la planta dejando pasar plumas y otras basuras finas. Posteriormente el agua atraviesa el canal desarenador donde se eliminan las arenas que lleve el agua residual, al final de los canales desarenadores el agua vierte por medio de vertederos proporcionales, donde se controla el flujo y pasa a la caja de salida y de ahí el agua residual se envía por gravedad hacia el sistema de tratamiento secundario.

Tratamiento secundario

El agua residual llega por gravedad a las zanjas de oxidación en donde ésta será tratada para reducir la carga orgánica que contiene. El suministro de aire se hace por medio de aeradores tipo cañón, localizados en forma estratégica. Cada zanja de oxidación tiene 4 aeradores. Después el agua con microorganismos entra a los sedimentadores secundarios o clarificadores, en los que el agua tratada se separará de los microorganismos y se clarificará. En este tipo de procesos es importante mantener una concentración constante de sólidos suspendidos totales o volátiles en el tanque de aeración, por lo que se deben recircular los lodos. Esta operación se realiza mediante una bomba de lodos. Adicionalmente, cada sedimentador cuenta con un sistema desnatador que se controla por una válvula desnatadora. Las natas se descargan en una fosa de lodos y desde allí pueden ser enviadas al tanque de aeración o al digestor de lodos. Cada sedimentador tiene una válvula para venteo de gases.

Desinfección

El agua residual tratada ingresa al tanque de contacto de cloro para que se eliminen todas las coliformes fecales presentes. Anterior a este proceso es necesario contar con una solución de cloro, para lo cual se cuenta con un sistema de cloro gas. Este se regula por medio de un dosificador de cloro y posteriormente se diluye con agua clarificada por medio de bombas y se inyecta directamente a la entrada del tanque de contacto. Finalmente el agua tratada y clorada se envía a un arroyo.

Tratamiento de lodos

Debido a que el sistema de tratamiento de aguas residuales es por medio de zanjas de oxidación, en éste se generará un exceso de microorganismos, por tal motivo es necesario sacarlos del sistema y darles un tratamiento. Así, los lodos que son purgados de los sedimentadores secundarios se envían a los digestores de lodos, donde se les inyecta aire por medio de sopladores, con el propósito de estabilizarlos. Finalmente, cuando el lodo biológico que ha alcanzado la estabilización deseada se envía por gravedad hacia lechos de secado, en donde el lodo será deshidratado primero por filtración y posteriormente por evaporación.

D.2. MANERA DE EJECUTAR CADA UNA DE LAS TAREAS ASIGNADAS

Esta debe contener:

- Descripción paso a paso o de la manera más detallada de cómo ejecutar la actividad, y que sea de la manera más simple y tratando de no emplear palabras rebuscadas
- Como apoyo se deben clasificar con clave de identificación a las unidades de operación, equipo electromecánico, accesorios, etc. De ser posible integrar un listado
- Objetivo e importancia de la operación unitaria dentro del tratamiento
- Descripción de la operación unitaria

do de los equipos con ubicación y clave. Con la finalidad de que el operador pueda realizar las acciones de una manera fácil y rápida

- Un diagrama de la operación unitaria, con la clasificación antes citada

La Tabla D.2 presenta un ejemplo de como ejecutar la tarea asignada.

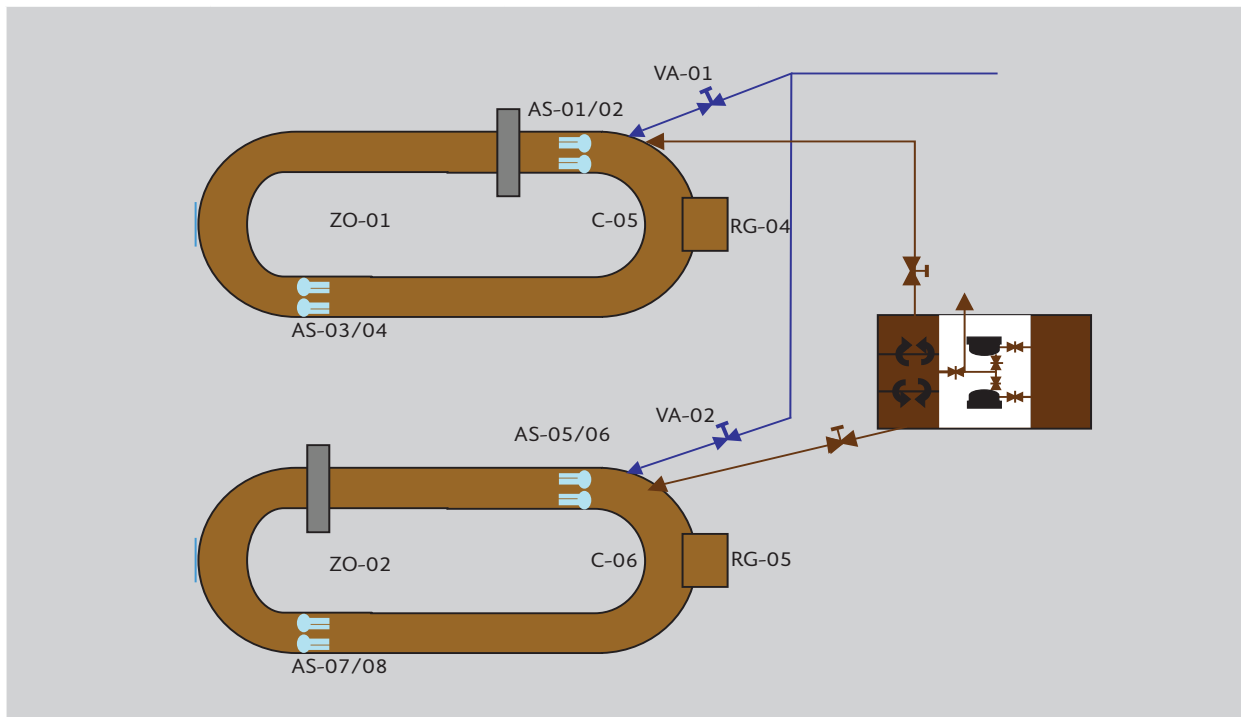
Tabla D.2 Ejemplo de como ejecutar la tarea asignada

Tratamiento biológico			
Nomenclatura	Descripción	Localización	Función
ZO-01	Zanja de oxidación 01	Norte de la PTAR	Tratamiento biológico del A.R.
ZO-02	Zanja de oxidación 02	Norte de la PTAR	Tratamiento biológico de A.R.
AE 01/02/03/04	Aeradores tipo cañón	Zanja de oxidación-01	Suministro de aire al proceso biológico
AE 05/06/07/08	Aeradores tipo cañón	Zanja de oxidación-02	Suministro de aire al proceso biológico
VC-05	Válvula de compuerta -05	Zanja de oxidación 01	Entrada de agua residual a ZO-01
VC-06	Válvula de compuerta -06	Zanja de oxidación 02	Entrada de agua residual a ZO-02
VC-07	Válvula de compuerta -07	Zanja de oxidación 01	Salida del agua residual de ZO-01
VC-08	Válvula de compuerta -08	Zanja de oxidación 02	Salida del agua residual de ZO-02

Zanjas de oxidación

El agua residual con el flujo controlado pasa por gravedad a las zanjas de oxidación (ZO-01 y ZO-02). Cada zanja de oxidación tiene una válvula de entrada, así; ZO-01, tiene la VA-01 y la ZO-02 la VA-02. Estas válvulas operan normalmente abiertas. Estas válvulas solo se cerraran para sacar de operación alguna de las zanjas, ya sea por falta de agua o por mantenimiento.

Estas unidades son el corazón del tratamiento, ya que es donde se realiza la estabilización de la materia orgánica y por tanto donde se limpia el agua. El agua permanece en la zanja donde se le suministra aire para el proceso por medio de las aeradores AS/01/02/03/04, que corresponden a la ZO-01 y los AS 05/06/07/08 que corresponden a la ZO-02. El control de encendido y apagado se encuentra en el sitio. El agua residual sale de las zanjas por medio del control de compuerta: C-05 para ZO-01, y la C-06 para ZO-02.



Para mantener las unidades en buenas condiciones de operación durante cada turno se deben realizar diferentes actividades como son: limpieza de la zanja de oxidación, inspección de los aeradores y hacer un control del proceso, como se indica a continuación

Tabla D.2 Ejemplo de como ejecutar la tarea asignada (continuación)

Limpieza de las zanjas de oxidación

Debido a que las rejillas gruesas no pueden atrapar toda la basura fina que trae el agua residual, tal como plumas y otros materiales finos, se colocaron mallas en las compuertas de salida de la zanja y en la misma zanja de oxidación. En cada turno se deben hacer las siguientes operaciones de limpieza:

Procedimiento

El operador debe observar la superficie del agua de la zanja y retirar la basura con un cedazo (principalmente plumas) y depositarlas en el contenedor de salida.

Hacer limpieza de las mallas localizadas en las compuertas de salida de las zanjas (C-05 y C-06). Con un cepillo de plástico de mango largo retirar toda la basura atrapada en la malla y depositarla en el contenedor.

Inspección de los aeradores

Inspeccionar los motores de accionamiento de los aeradores para verificar que no existan ruidos extraños o vibraciones.

Inspeccionar que las tuercas de ajuste de los cables de acero no se encuentren flojas y que los tensores estén en su posición.

Que exista succión de aire.

Control del proceso

Una vez por turno medir el volumen de lodo sedimentado en un cono Imhoff de acuerdo al siguiente procedimiento:

Procedimiento

A la mitad de la zanja de oxidación en cualquiera de los dos extremos, con ayuda de un muestreador tomar un muestra del licor mezclado de la zanja de oxidación a una profundidad de aproximadamente 0.75 m.

Mezclar suavemente la muestra y llenar el cono Imhoff hasta la marca de 1 L.

Dejar en reposo 30 minutos y después de este lapso tomar la lectura del volumen de lodo sedimentado en el fondo.

Si este resultado es menor de 400 mL se debe enviar lodo de los sedimentadores hacia la zanja de oxidación. Esto es, aumentar la recirculación.

Si la lectura es mayor de 400 mL, es necesario purgar lodo hacia el digestor.

D.3. CONSIDERACIONES DE OPERACIÓN

El operador debe aplicar algún método para regular u operar bajo ciertas condiciones las unidades a su cargo, de tal manera, que se mantenga o mejore la eficiencia requerida en calidad del agua. Un ejemplo de esto se presenta en la Tabla D.3.

D.4. FORMATOS O BITÁCORAS DE REGISTRO DE OPERACIÓN

Estos pueden ser de:

- Registro de entrada y salida de operadores
- Registros de caudal

- Registro de determinaciones de campo; pH, oxígeno disuelto, temperatura, conductividad, color, turbiedad, entre otros.
- Registro de parámetros de control; velocidad de sedimentación, sólidos suspendidos totales y volátiles, demanda química y bioquímica de oxígeno, nutrientes, grasas y aceites, índice volumétrico de lodos, tasa de respiración, entre otros
- Paro y arranque o en operación de equipos electromecánicos; bombas, sopladores, aireadores, etcétera

Un ejemplo de registros y/o formatos para los indicadores sensoriales y analíticos, así como de actividades de limpieza se muestran a continuación. Estos también podrán ser vistos en el Anexo D.

Tabla D.3 Ejemplo de consideraciones de operación

Sistema de aeración	
Control de la válvula de alivio o by pass; este método no ahorra energía y es para pequeñas instalaciones	
Control de válvula de entrada de aire; este método es para sopladores dinámicos; es el método más eficiente y económico para regular la capacidad del soplador. No debe usarse en sopladores de desplazamiento positivo porque si se cierra la válvula de entrada, el mecanismo se daña al trabajar en seco. Este simple método de control consiste en colocar una válvula mariposa a la entrada del soplador, reduciendo hasta un 45% la capacidad de operación normal	
Difusores ajustables en la descarga de compresores radiales con impulsores, pueden dar cierta capacidad de regulación sin reducir la presión de descarga. Este mecanismo también da un 45% de reducción de la capacidad nominal del soplador	
El uso de motores de velocidad variable es un método eficiente de regulación para sopladores de desplazamiento positivo. Un pequeño cambio de velocidad de rotación puede producir un cambio relativamente grande en la presión de descarga del soplador. Debido a que operan en un pequeño rango de presiones, el uso de motores de velocidad variable no es económico	
En plantas pequeñas de aguas residuales, un solo soplador en funciones y otro en espera son suficientes. En plantas grandes es común encontrar una serie de sopladores funcionando a la vez, con uno de reserva	
El control de sopladores en serie requiere un análisis de funcionamiento de acuerdo con las curvas características del sistema	

Tabla D.4 Evaluación de indicadores sensoriales, Canal desarenador

Agua residual				
Color	Café	Negro	Verde	Otro
Observaciones				
Olor	Humedad	Ligero	Séptico	Otro
Observaciones				
Basura suspendida	Poca	Más o menos	Demasiada	Se retiró
Observaciones				
Burbujas	Ausencia	Pocas	Más o menos	Demasiadas
Observaciones				
Acumulación de:				
Algas en:		Sólidos en:		

Tabla D.5 Evaluación de indicadores sensoriales, Recepción de agua residual

Cárcamo de bombeo (CB-01)				
Bomba sumergibles				
Equipo	Bajo gasto	Movimiento	Ruidos	Caliente
BA-01				
BA-02				
BA-03				
Agua residual				
Color	Café	Negro	Verde	Otro
Observaciones				
Olor	Humedad	Ligero	Séptico	Otro
Observaciones				
Basura suspendida	Poca	Más o menos	Demasiada	Se retiró
Observaciones				

Tabla D.6 Evaluación de indicadores sensoriales, Tratamiento primario

Sedimentador primario (SP-01)					
Turbiedad	Algas	Burbujas	Materia flotante	Cortocircuito	Acumulación de sólidos
Observaciones					

Tabla D.7 Evaluación de indicadores sensoriales, Sistema biológico

Zanja de oxidación (ZO-01)				
Licor mezclado				
Color	Café	Negro	Verde	Otro
Observaciones				
Flóculo	Espojoso	Disperso	Pesado	Homogéneo
Observaciones				
Olor	Humedad	Ligero	Séptico	Otro
Observaciones				
Superficie del reactor				
Turbulencia	Homogénea	Heterogénea	Ubicar zonas	Otro
Observaciones				
Basura suspendida	Poca	Más o menos	Demasiada	Se retiró
Observaciones				
Espumas	Blanca	Café cloro	Café oscuro	Otro
Observaciones				

Tabla D.7 Evaluación de indicadores sensoriales, Sistema biológico (continuación)

Equipos de aireación					
Equipo	Caliente	Movimiento	Ruidos	Otro	
AS-01					
AS-02					
AS-03					
AS-04					
Observaciones					
Acumulación de:					
Algas en:		Sólidos en:			
Cárcamo de bombeo de lodos (CB-02)					
Bomba sumergibles					
Equipo	Bajo gasto	Movimiento	Ruidos	Otro	
BAL-01					
BAL-02					
BAL-03					
Lodo de recirculación					
Color	Café	Negro	Verde	Otro	
Observaciones					
Olor	Humedad	Ligero	Séptico	Otro	
Observaciones					
Basura suspendida	Poca	Más o menos	Demasiada	Se retiró	
Observaciones					
Nivel de lodo en cárcamo					
Vacío	Bajo	Medio	Lleno		
Observaciones					
Sedimentador secundario (SS-01)					
Turbiedad	Algas	Burbujas	Materia flotante	Cortocircuito	Acumulación de sólidos
Observaciones					

Tabla D.8 Evaluación de indicadores sensoriales, Desinfección

Tanque de contacto de cloro (TC-01)					
Bombas dosificadoras					
Equipo	Temperatura	Movimiento	Ruidos	Otro	
BA-04 "A"					
BA-04 "B"					
Agua tratada					
Turbiedad	Algas	Burbujas	Materia flotante	Corto-circuito	Acumulación de sólidos
Observaciones					
Acumulación de:					
Algas en:					
Sólidos en:					

Tabla D.9 Evaluación de indicadores sensoriales, Tratamiento de lodos

Digestor aerobio (DA-01)				
Lodo en digestión				
Color	Café	Negro	Verde	Otro
Observaciones				
Flóculo	Espinoso	Disperso	Pesado	Homogéneo
Observaciones				
Olor	Humedad	Ligero	Séptico	Otro
Observaciones				
Superficie del digestor				
Turbulencia	Homogénea	Heterogénea	Ubicar zonas	Otro
Observaciones				
Basura suspendida	Poca	Más o menos	Demasiada	Se retiró
Observaciones				
Espumas	Blanca	Café cloro	Café oscuro	Otro
Observaciones				
Equipos de aireación				
Equipo	Caliente	Movimiento	Ruidos	Otro
SO-01				
SO-02				
SO-03				
SO-04				
Observaciones				
Acumulación de:				
Algas en:			Sólidos en:	

Tabla D.10 Formatos de operación

Fecha:					
Operador	Entrada	Salida	Operador	Entrada	Salida

--	--	--	--	--	--

Recepción de agua residual								
Operación de bombas sumergibles en cárcamo de bombeo (CB-01)								
BA-01	Arranque	Paro	BA-02	Arranque	Paro	BA-03	Arranque	Paro
Hora			Hora			Hora		
Amperaje		Amperaje			Amperaje			
Presión de salida		Presión de salida			Presión de salida			

Determinación del gasto de entrada y/o salida (L/s)							
01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00
09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00

Calidad del agua							
Parámetro	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	
Hora							
Temperatura (°C)							
pH							
Conductividad (µS cm ⁻¹)							
SST (mg/L)							
Color (UPtCo)							
Turbiedad (UTN)							
NH ₃ (mg/L)							
NO ₃ (mg/L)							
PT (mg/L)							
DQO (mg/L)							

Limpieza de unidades de proceso								
Rejillas (RJ-03)						Desarenador (DE-01)		
"A"		"B"		"A"		"B"	"C"	
Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora
Sedim. Primario		Tanque de aireación			Sedimentador secundario		Desinfección	
SP-01	SP-01	ZO-01	ZO-02	ZO-03	SS-01	SS-02	SS-03	TC-01
Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	

Tabla D.10 Formatos de operación (continuación)

Sistema biológico							
Operación de aireadores superficiales (ZO-01)				Operación de aireadores superficiales (ZO-02)			
Opera	Sí	No	Amperaje	Opera	Sí	No	Amperaje
AS-01				AS-05			
AS-02				AS-06			
AS-03				AS-07			
AS-04				AS-08			

Operación de bombas en cárcamo de lodos (CL-01), para recirculación									
BL-01	Paro	Arranque	BL-02	Paro	Arranque	BL-03	Paro	Arranque	
Hora			Hora			Hora			
Amperaje			Amperaje			Amperaje			
Presión de salida			Presión de salida			Presión de salida			
Gasto (L/s)			Gasto (L/s)			Gasto (L/s)			

Pruebas de sedimentabilidad de lodos															
Tanque de aireación				ZO-01		SSTLM (mg/L)				Hora:					
Minuto				5		10		15		20		25		30	
Vol. de lodo (ml)															
Café claro		Café oscuro		Negro		Esponjoso		Bien formado		Agua		Turbia		Clara	
Fló-culo	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Agua	Sí	No	Sí	No
Observaciones															
Tanque de aireación				ZO-02		SSTLM (mg/L)				Hora:					
Minuto				5		10		15		20		25		30	
Vol. de lodo (ml)															
Café claro		Café oscuro		Negro		Esponjoso		Bien formado		Agua		Turbia		Clara	
Fló-culo	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Agua	Sí	No	Sí	No
Observaciones															

Determinación de oxígeno disuelto (mg/L)						
Hora	Tanque de aireación (ZO-01)			Tanque de aireación (ZO-02)		
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 1	Punto 2	Punto 3
00:30						
04:30						
08:30						
12:30						
16:30						
20:30						

Tabla D.10 Formatos de operación (continuación)

Nivel o colchón de lodos en sedimentador secundario							
CS-01				CS-02			
Hora		Nivel (m)		Hora		Nivel (m)	
Hora		Nivel (m)		Hora		Nivel (m)	
Hora		Nivel (m)		Hora		Nivel (m)	

Desinfección							
Sistema de cloración							
Cilindro en operación				Bomba en operación			
Presión de manómetro				Flujo de gas cloro			
		Hora		Hora		Hora	
		Dosis	Residual	Dosis	Residual	Dosis	Residual
Cloro (mg/L)							

Tratamiento de lodos								
Operación de bombas en cárcamo de lodos (CL-01), para purga								
BL-01	Arranque	Paro	BL-02	Arranque	Paro	BL-03	Arranque	Paro
Hora			Hora			Hora		
Amperaje			Amperaje			Amperaje		
Presión de salida			Presión de salida			Presión de salida		
Gasto (L/s)								

Limpieza de unidades de proceso					
Cárcamo	Registro (RL-01)			Digestor (DL-01)	
CL-01	A	B	C	A	B
Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora

Operación de aireadores superficiales (DL-01)				Operación de aireadores superficiales (DL-02)			
Opera	Sí	No	Amperaje	Opera	Sí	No	Amperaje
ASL-01				ASL-03			
ASL-02				ASL-04			

Tabla D.10 Formatos de operación (continuación)

Determinación de campo en digestor								
Hora	Digestor (DL-01)				Digestor (DL-02)			
	OD (mg/L)	SST (mg/L)	Temperatura (°C)	pH	OD (mg/L)	SST (mg/L)	Temperatura (°C)	pH
00:30								
04:30								
08:30								
12:30								
16:30								
20:30								

Operación de bombas de lodo digerido								
BLD-01	Arranque	Paro	BLD-02	Arranque	Paro	BLD-03	Arranque	Paro
Hora	Hora			Hora			Hora	
Amperaje	Amperaje			Amperaje			Amperaje	
Presión de salida	Presión de salida			Presión de salida			Presión de salida	
Gasto (L/s)	Gasto (L/s)			Gasto (L/s)			Gasto (L/s)	

Sistema de deshidratación de lodo				
Filtro banda	Paro		Arranque	
Tanque de solución	Bomba en operación			
Presión de manómetro	Flujo de polímero			
Polímero (mg/L)	Hora	Hora	Hora	Hora
	Dosis	Dosis	Dosis	Dosis
Volumen de lodos deshidratado (m ³ /d)				

E

FORMATOS DE MANTENIMIENTO

Tabla E.1 Programa de mantenimiento de julio a diciembre

Equipo	Localización	Jul		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic		Observaciones y/o bitácora utilizada
		P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	

Dónde: P= Programado. R= Real

Tabla E.1 Programa de mantenimiento de julio a diciembre (continuación)

Tarjeta de mantenimiento			
Equipo:		Marca:	
Modelo:		Clave:	
Ubicación:		Bomba:	
Mantenimiento			
Advertencia:			
Fecha	Trabajo realizado y por quien	Fecha	Trabajo realizado y por quien

F

FORMATOS DE ARRANQUE

Tabla F.1 Formato para registro de calidad del agua

Parámetro	Diseño		Real	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Q = Gasto (L/s)				
DBO = Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)				
DQO = Demanda química de oxígeno (mg/L)				
SST = Sólidos suspendidos totales (mg/L)				
SSV = Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)				
SSVLM = SSV en el licor mezclado (mg/L)				
SSVr = SSV en la recirculación (mg/L)				
NH ₃ = Nitrógeno amoniacal (mg/L)				
NO ₃ ⁻ = Nitrógeno de nitratos (mg/L)				
NT = Nitrógeno Total (mg/L)				
PT = Fósforo total (mg/L)				
T = Temperatura (°C)				
pH = Potencial Hidrógeno				
A/M = Relación alimento/microorganismos				
Grasas y aceites (mg/L)				

Tabla F.2 Formato para revisión de equipo electromecánico

Tanque de regulación u homogenización					
Equipo	Clave	Amper	Arranca		Si es "No" identificar posible cusa
			Sí	No	
Sedimentador primario					
Equipo	Clave	Amper	Arranca		Si es "No" identificar posible cusa
			Sí	No	
Tanque de aireación					
Equipo	Clave	Amper	Arranca		Si es "No" identificar posible cusa
			Sí	No	

Tabla F.4 Formato para registro de pruebas de sedimentabilidad y obtención de IVL por día

Día	Hora	SST mg/L	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min	IVL mL/g
			Volumen de lodo (mL/L)						
1									
2									
3									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

Tabla F.5 Formato de registro de inóculo

Módulo 1									
Día									
Volumen (m ³)									
SST (mg/L)									
Módulo 2									
Día									
Volumen (m ³)									
SST (mg/L)									



G

GUÍAS DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

G.1. PROBLEMAS COMUNES Y ACCIONES CORRECTIVAS EN REJILLAS

Tabla G.1 Problemas comunes y acciones correctivas en rejillas

Indicadores /observaciones	Causa probable	Verificación o monitoreo	Soluciones
Olores repugnantes, moscas y otros insectos.	Acumulación de trapos y basura.	Método y frecuencia de la remoción de basura.	Incrementar la frecuencia de la remoción y disposición a un sitio aprobado.
Arena excesiva en la cámara de la rejilla.	Velocidad de flujo demasiado baja.	El fondo de arena en la cámara es irregular. Baja velocidad.	Eliminar irregularidades del fondo, o pendiente del fondo. Incrementar la velocidad de flujo en la cámara o limpiar con agua regularmente usando una manguera.
Atascamiento excesivo en la rejilla.	Cantidad inusual de basura en las aguas residuales. Verificar los desechos industriales (alimentos, otros). Frecuencia de limpieza inadecuada.	Condiciones aguas arriba. Frecuencia de la limpieza.	Usar una rejilla gruesa o identificar la fuente de los desechos causantes del problema, por lo tanto estas descargas pueden ser controladas. Incrementar la frecuencia de la limpieza.
Rastrillo mecánico saturado, el interruptor del circuito no se reiniciará.	Mecanismo atascado.	Canal de la rejilla.	Remover la obstrucción. Ajustar la tensión del cable o cadena.
Rastrillo parado, pero el motor trabaja.	Catarina rota. Cadena o cable roto. Interruptor roto.	Revisar catarina. Revisar la cadena. Revisar el interruptor dañado.	Identificar la causa de la ruptura, reemplace la catarina. Reemplace la cadena o cable. Reemplace el interruptor.
Rastrillo sin trabajar, problema no visible.	Circuito del control remoto dañado.	Reemplazar circuito o motor.	Verificar los circuitos del interruptor.
Marcas o metal contra metal en la cubierta de la rejilla.	La rejilla necesita ajuste.	Rejilla a través de un ciclo, preste atención, escuche y observe el ciclo.	Ajustes recomendados por los fabricantes en el manual de O&M.

G.2. PROBLEMAS COMUNES Y ACCIONES CORRECTIVAS EN DESARENADORES

Tabla G.2 Problemas comunes y acciones correctivas en desarenadores

Indicadores / observaciones	Causa probable	Verificación o monitoreo	Soluciones
Exceso de arena en los colectores.	Unidad operando a velocidades excesivas.	Velocidad de entrada.	Reducir la velocidad de entrada.
Demasiada vibración en el desarenador ciclónico.	Obstrucción en el orificio inferior. Obstrucción en el orificio superior.	Flujo del orificio inferior. Demasiado flujo en la salida del orificio inferior.	Remover la obstrucción. Reducir el flujo.
Olor a huevo podrido en la cámara de arena.	Formación de sulfuros de hidrógeno.	Pruebas para depósitos de lodos, sulfuros disueltos y totales.	Lavar la cámara con hipoclorito.
Arena acumulada en la cámara.	Basura sumergida. Velocidad de flujo demasiado baja o cadena rota.	Inspeccionar la cámara en relación a la basura. Verificar el equipo.	Lavar la cámara diariamente. 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. Inadecuada velocidad de flujo del aire. Velocidad del sistema de remoción de arena demasiado baja.	Presión de descarga en el desarenador ciclónico. Verificar la velocidad de flujo del aire. Use tinta u objetos flotantes para verificar la velocidad.	Mantener la presión del ciclón entre 4 y 6 psi (28 and 41 kPa) gobernado por la velocidad de la bomba. Aceite especificado en el manual O&M. Incrementar la velocidad en la cámara de arena, no sobrepasar 0.3 m/s. A menos que las estrategias de operación llamadas sean velocidades bajas con lavados.
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 por velocidad excesiva. Demasiada aireación.	Velocidad. Aireación.	Mantenga la velocidad cerca de los 0.3 m/s. 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.	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.

G.3. PROBLEMAS COMUNES Y ACCIONES CORRECTIVAS EN SEDIMENTADORES PRIMARIOS Y SECUNDARIOS

Los problemas que con mayor frecuencia se presentan en un sedimentador y que influyen en la eficiencia del tratamiento del agua son:

- El diseño inadecuado de estructuras tales como la interconexión al sedimentador, entre otras
- Prácticas inadecuadas de operación, como purga de lodos
- Variación en la calidad y flujo del agua

Tabla G.3 Problemas comunes y acciones correctivas en sedimentadores primarios y secundarios

Causa	Identificación	Solución
Turbiedad del agua de salida mayor a 10 UTN		
Interconexión al sedimentador con velocidades mayores a las de diseño.	Determinar velocidad en la interconexión.	Modificar la interconexión.
Configuración inadecuada de entrada y distribución de agua.	Arrastre de floculos. Velocidad de salida del agua no homogénea en toda la superficie del sedimentador.	Modificar la configuración de entrada y distribución de agua.
Faltan o están mal nivelados los vertedores o los orificios están tapados.	Realizar caracterización del agua cruda. Lodo en la superficie	Reposición o nivelación de vertedores. Destapar orificios.
Variación en la calidad y/o flujo del agua	Observar las características de sedimentación del floculo, dispersión, tamaño y tiempo de sedimentación.	Realizar purga de lodos. Ajustar tiempos de purga de lodos. Incrementar o disminuir recirculación del agua
El agua presenta sólidos pequeños de difícil sedimentación	Relación alimento/microorganismos baja.	Aumentar la purga.
Otras condiciones		
Burbujas y arrastre de lodos en la superficie	Observar el color de los lodos; Si es café se están propiciando condiciones anóxicas que generan desnitrificación, debido a que el lodo está demasiado tiempo en la unidad. Si son negros se tienen condiciones anaerobias.	Aumentar la recirculación en sedimentador secundario. Purgar. Verificar condiciones y nivelación de rastra
Exceso de natas en la superficie	Color de natas cafés claro puede indicar presencia de grasas y aceites. Presencia de alguna sustancia tóxica en el agua que mato a los microorganismos.	Colocar una trampa de grasas y aceites en pretratamiento. Realizar análisis de agua cruda e identificar probables contaminantes. Desviar el agua de entrada o bajar gasto de entrada al sistema lo más posible.

Tabla G.3 Problemas comunes y acciones correctivas en sedimentadores primarios y secundarios (continuación)

Causa	Identificación	Solución
Presencia de capas gruesas de lodos	Probable presencia de microorganismos filamentosos (bulking), debido a deficiencia de nutrientes, o pH menor a 6 unidades, o carga orgánica baja y/o falta de oxígeno	Aplicar cloro en el reactor; - Si el problema es leve 2 a 3 kg Cl por 1 000 Kg SSTLM - Si es moderado de 5 a 6 kg Cl por 1 000 Kg SSTLM - Si es grave 10 a 12 kg Cl por 1 000 Kg SSTLM Dividir la aplicación en dos o tres dosis en un día
Se observa un lodo difícil de sedimentar de tipo esponjoso	Relación alimento/microorganismos alta	Aumentar la recirculación entre el 100 y 150 por ciento

G.4. PROBLEMAS COMUNES Y ACCIONES CORRECTIVAS POR PRESENCIA DE ESPUMA BLANCA

Indica un lodo joven y se encuentra normalmente tanto en plantas nuevas como en plantas sobrecargadas. Significa que la concentración de SSTLM es muy baja y la A/M es muy alta. La es-

puma puede consistir en detergentes o proteínas que no pueden ser convertidas en alimento por las bacterias que crecen en el licor de mezcla a altas tasas de A/M.

Tabla G.4 Problemas comunes y acciones correctivas por presencia de espuma blanca

Causas	Soluciones
Lodos activados no retornados al tanque de aireación	Verificar que el lodo que retorna fluye hacia el tanque de aireación. Mantener tasas de retorno suficientes para mantener el manto de lodo en la parte más baja del clarificador, preferentemente entre 0.3 y 0.9 m del fondo
Bajo SSTLM resultantes del proceso de puesta en marcha	Frenar el desperdicio de lodo activo por unos días para aumentar la concentración de SSTLM y TRCM
Bajo SSTLM para el residuo orgánico actual, causado tanto por el excesivo desecho de lodos o alta carga orgánica del afluente	Controlar los caudales de aire o la profundidad de los aireadores mecánicos para mantener las concentraciones de OD de 1.5 a 4 mg/L en el tanque de aireación
La presencia de condiciones desfavorables, como sustancias tóxicas o inhibitoras, condiciones anormales de pH, insuficiencia de OD, deficiencia de nutrientes, o cambios estacionales de temperatura.	Controlar las válvulas de desagüe y cerrarlas si estuvieran abiertas por accidente
Perdida no intencional de biomasa en el clarificador secundario causado por:	Considerar la siembra de lodos de otra planta que esté operando correctamente
<ul style="list-style-type: none"> • Excesiva carga hidráulica • Trastornos biológicos • Deficiencias mecánicas del sedimentador secundario • Inapropiada distribución de caudales o carga de sólidos entre múltiples clarificadores • Inapropiada distribución del flujo de recirculación entre múltiples clarificadores 	Modificar cañerías o estructuras como sea necesario para mantener una distribución apropiada de caudales a los múltiples tanques de aireación y sedimentadores

G.5. PROBLEMAS COMUNES Y ACCIONES CORRECTIVAS POR PRESENCIA DE ESPUMA MARRONES

Este tipo de espumas se asocia a plantas operando en rangos de baja carga. Las plantas diseñadas para nitrificar tendrán normalmente cantidades bajas o moderadas de espumas marrones.

Las plantas con el microorganismo filamentosos *Nocardia* tendrán una espuma grasosa y marrón oscura que será transportada sobre la superficie del sedimentador.

Tabla G.5 Problemas comunes y acciones correctivas por presencia de espuma marrones

Causas	Soluciones
El tanque de aireación está siendo operado a baja A/M	Si la nitrificación no es necesaria, gradualmente incrementar la A/M y disminuir TRMC
Crecimiento de una alta concentración de SSTLM como resultado de un insuficiente desecho de lodos	Si aparecen filamentosos tratar de identificar la causa
Re-aireación de lodos	

G.6. PROBLEMAS COMUNES Y ACCIONES CORRECTIVAS POR PRESENCIA DE ESPUMAS MUY OSCURAS O NEGRAS

La presencia de espumas muy oscuras o negras indica una aireación insuficiente, que resulta en condiciones anaerobias, o residuos industriales como tintas o tinturas. Las siguientes medidas podrán aplicarse para corregir estas espumas:

- Incrementar la aireación
- Investigar la fuente de los residuos para determinar la presencia de tintas
- Disminuir la concentración de SSTLM

G.7. FACTORES QUE AFECTAN LA TRANSFERENCIA DE OXÍGENO CON DIFUSORES EN TANQUE DE AIREACIÓN

Tabla G.6 Factores que afectan la transferencia de oxígeno con difusores en tanque de aireación

Factor	Efecto sobre la transferencia de oxígeno
Equipo	
Tipo de difusor	Los de burbuja fina tienen mejor transferencia de oxígeno que los de gruesa
Densidad de difusores	Mayor número de difusores produce mayor transferencia de oxígeno
Sumergencia de los difusores	A mayor sumergencia mayor transferencia de oxígeno
Distribución de los difusores	Distribución en malla produce mayor transferencia que una colocada a lo largo de una pared o en el centro.
Edad del difusor	El envejecimiento de las membranas puede disminuir la transferencia de oxígeno
Regimen de flujo	Flujo pistón tiene mayor eficiencia de transferencia de oxígeno
Geometría del tanque	Tanques cuadrados tienen menor variación de transferencia de oxígeno que los rectangulares.

Tabla G.6 Factores que afectan la transferencia de oxígeno con difusores en tanque de aireación (continuación)

Factor	Efecto sobre la transferencia de oxígeno
Operación	
Tiempo de retención	A mayor tiempo de retención, mayor transferencia de oxígeno
Nitrificación	Sistemas nitrificantes tienen mayor transferencia de oxígeno
Relación A/M	El aumento de A/M disminuye la transferencia de oxígeno
Flujo de aire por el difusor	En burbuja fina, a mayor flujo de aire menor transferencia de oxígeno. En otro puede suceder lo contrario
Oxígeno disuelto	A mayor concentración de oxígeno disuelto menor transferencia de oxígeno
Deterioro del difusor	Los daños del difusor deterioran la transferencia de oxígeno
Características del agua	
Temperatura	Un incremento en la temperatura del agua disminuye la transferencia del oxígeno
Detergentes	Disminuyen la transferencia de oxígeno.

G.8. PROBLEMAS COMUNES Y ACCIONES CORRECTIVAS EN TANQUE DE AIREACIÓN

Tabla G.7 Problemas comunes y acciones correctivas en tanque de aireación

Indicadores /observaciones	Causa probable	Soluciones
El pH del agua está por debajo de 5 unidades.	Relación alimento/microorganismos baja.	Preparar un a lechada de cal en relación de 25 kg en 200 l de agua por cada 500 m ³ de volumen del reactor. Purgar lodos del sedimentador secundario.
Oxígeno disuelto es menor a 1 mg/L.	Difusores rotos. Baja eficiencia de sopladores. Carga orgánica alta.	Reemplazar difusores. Revisar mecánicamente los sopladores. Reducir el flujo de agua residual.
En prueba de sedimentabilidad de lodo el clarificado es turbio.	Relación alimento/microorganismos baja. pH menor a 5 unidades. Lodos viejos.	Aumentar la purga. Preparar un a lechada de cal en relación de 25 kg en 200 l de agua por cada 500 m ³ de volumen del reactor. Aumentar la purga de lodos.
En prueba de sedimentabilidad de lodo, éste es esponjoso.	Presencia de microorganismos jóvenes. Inicio de la presencia de microorganismos filamentosos. pH por debajo de 6 unidades.	Incrementar la recirculación al 100 o 150 por ciento. Aplicar cloro en el reactor en una dosis de 2 a 3 kg Cl por 1 000 Kg SSTLM. Preparar un a lechada de cal en relación de 25 kg en 200 l de agua por cada 500 m ³ de volumen del reactor.

Tabla G.7 Problemas comunes y acciones correctivas en tanque de aireación (continuación)

Indicadores /observaciones	Causa probable	Soluciones
Espuma blanca sobre el reactor.	La temperatura descendió a menos de 15°C. Los SSTLM están por debajo de la concentración de operación. Entrada de un afluente tóxico.	Aumentar la recirculación de lodos a 100 o 150 por ciento, y suspender la purga.
Presencia de capas gruesas de lodos.	Probable presencia de microorganismos filamentosos (<i>bulking</i>), debido a deficiencia de nutrientes, o pH menor a 6 unidades, o carga orgánica baja y/o falta de oxígeno.	Aplicar cloro en el reactor; - Si el problema es leve 2 a 3 kg Cl por 1 000 Kg SSTLM. - Si es moderado de 5 a 6 kg Cl por 1 000 Kg SSTLM. - Si es grave 10 a 12 kg Cl por 1 000 Kg SSTLM. Dividir la aplicación en dos o tres dosis en un día.

G.9. PROBLEMAS COMUNES Y ACCIONES CORRECTIVAS EN PROCESOS DE OXIDACIÓN

Tabla G.8 Problemas comunes y acciones correctivas en procesos de oxidación

Problema	Posibles causas	Pruebas de identificación	Posible solución
Incremento en el nivel de organismos coliformes	Cloro residual bajo Tiempos de contacto insuficientes en la cámara de contacto Mala calibración del equipo de cloración	Demanda de cloro Prueba de trazadores para definir zonas muertas y cortos circuitos Curva de calibración del equipo.	Aumentar la dosis de cloro Instalar mamparas en la cámara de contacto.
Crecimiento de algas en tanques floculadores y sedimentadores	Materia orgánica presente en el agua cruda	Demanda de cloro	Aplicación de un oxidante al agua cruda (de preferencia no utilizar cloro)
Disminución de la concentración de cloro residual	Incremento de la cantidad de material oxidante	Demanda de cloro.	Aplicación de un oxidante al agua cruda (de preferencia no utilizar cloro). Aumentar la dosis de cloro

G.10. PROBLEMAS COMUNES Y ACCIONES CORRECTIVAS EN LOS CLORADORES

Tabla G.9 Problemas comunes y acciones correctivas en los cloradores

Problema	Posible causa	Prueba de identificación	Posible solución
Presión insuficiente del gas cloro en el clorador	Velocidad de extracción mayor que la permitida	Las líneas de abastecimiento de cloro de los cilindros se encuentran muy frías o se están congelando.	Desarmar la tubería alimentadora de cloro en el punto donde se inició el enfriamiento
Ausencia de presión del gas en el clorador, cuando los cilindros llenos están conectados al sistema abastecedor de cloro	Válvula reductora de presión (VRP) atascada o malograda	El medidor de presión de gas del clorador marca cero, la válvula de entrada y todas las demás e inclusive la del cilindro están abiertas	Revisar la válvula externa reductora de la presión del cloro instalada a continuación de los cilindros de cloro. Reparar la válvula reductora que se encuentra atascada, probablemente por las impurezas inherentes del gas cloro.
Imposibilidad de operar el clorador debido a que el rotámetro se congela y el indicador de velocidad de alimentación es errático	Cilindro defectuoso	Toda la línea de suministro de cloro situada antes del cilindro también está congelada, aunque los cilindros se encuentran casi a la temperatura del ambiente	Cerrar la válvula principal de emisión de todos los cilindros y evacuar el cloro de la tubería alimentadora hasta que el medidor de presión del clorador marque cero.
El clorador no suministra cloro aun cuando todo el sistema aparentemente funciona normalmente	Mayor temperatura en el ambiente en que se encuentra el cilindro que el de la sala del clorador	El medidor del cloro del clorador marca una presión normal pero el medidor del inyector de vacío indica un vacío más elevado de lo normal	Revisar si existe una obstrucción en la línea del gas cloro cerca o en el cartucho de ingreso de la válvula reductora de presión del cloro.
Excesivo olor a cloro en el punto de aplicación	Baja presión en el punto de aplicación	Comprueba la concentración de la solución de cloro. El aire sobre el área del difusor de cloro reacciona con la solución de amoniaco produciendo nubes de humo blanco que indican fuga de cloro molecular	Si el difusor de cloro se sitúa debajo del eyector, lo que conduce a una carga negativa en la línea de solución, instalar un medidor de solución de cloro a presión con diafragma protector especial
El clorador no suministra suficiente cloro para producir un residual adecuado en el punto de muestreo.	Falta de mantenimiento	Muestreos rutinarios en un punto, muestran que en algunas horas del día existe un residual adecuado pero en otros momentos no existe ninguno	Las piezas de control automático del clorador deberán ser reparadas por el personal de reparaciones de campo del fabricante. En caso necesario, limpie la cámara de contacto de cloro

G.11. PROBLEMAS COMUNES Y ACCIONES CORRECTIVAS EN EL ARRANQUE DE UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

Tabla G.10 Problemas comunes y acciones correctivas en el arranque de un sistema de lodos activados

Tipo de problema	Síntomas	Causa
Abultamiento de lodos	Flóculo grande distribuido en todo el sedimentador, pobre compactación del manto de lodos, predominancia de organismos filamentosos.	Sobrecarga orgánica, relación A/M incorrecta, deficiencia de nutrientes.
Solución	Aumentar recirculación y disminuir purga. Disminuir el gasto de entrada.	
Flotación de lodos	Sólidos biológicos flotan en la superficie del sedimentador.	Demasiado tiempo de retención en el sedimentador.
Solución	Tratar de establecer que la recirculación de lodos sea lo más continua posible.	
Flóculo roto	Flóculo pequeño, flotante, sobrenadante turbio.	Toxicidad, deficiencia de nutrientes, exceso de carga orgánica.
Solución	Aumentar la recirculación de lodos. Disminuir el gasto de entrada. Agregar nutrientes. Determinación de metales.	
Flóculo disperso	Flóculo pequeño y ligero, sobrenadante claro.	Edad de lodos baja
Solución	Aumentar la recirculación de lodos. Disminuir la purga de lodos.	
Flóculo cabeza de alfiler	Flóculo pequeño y pesado, efluente turbio, flóculo de rápida sedimentación.	Edad de lodos alta
Solución	Disminuir la recirculación de lodos. Aumentar la purga de lodos.	



TABLA DE CONVERSIONES DE UNIDADES DE MEDIDA

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

Longitud

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

Superficie

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

Volumen/capacidad

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

Masa/peso

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

Temperatura

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

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

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

Nota: El valor de la aceleración de la gravedad aceptado internacionalmente es de 9.80665 m/s²

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Fórmulas generales para la conversión de los diferentes sistemas

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

Factores químicos de conversión					
	A	B	C	D	E
Constituyentes	eppm a ppm	ppm a epm	eppm a gpg	gpg a epm	ppm a ppm CaCO 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
nitrate (NO ₃) ⁻¹	62.01	0.01613	3.6263	0.2758	0.8070
fosfato (PO ₄) ⁻³	31.67	0.03158	1.8520	0.5400	1.5800
sulfato (SO ₄) ⁻²	48.04	0.02082	2.8094	0.3559	1.0416
bicarbonato de calcio Ca(HCO ₃) ₂	805.00	0.01234	4.7398	0.2120	0.6174
carbonato de calcio (CaCO ₃)	50.04	0.01998	2.9263	0.3417	1.0000
cloruro de calcio (CaCl ₂)	55.50	0.01802	3.2456	0.3081	0.9016
hidróxido de calcio Ca(OH) ₂	37.05	0.02699	2.1667	0.4615	1.3506
sulfato de calcio (CaSO ₄)	68.07	0.01469	3.9807	0.2512	0.7351
bicarbonato férrico Fe(HCO ₃) ₃	88.93	0.01124	5.2006	0.1923	0.5627
carbonato férrico Fe ₂ (CO ₃) ₃	57.92	0.01727	3.3871	0.2951	0.8640
sulfato férrico Fe ₂ (CO ₄) ₃	75.96	0.01316	4.4421	0.2251	0.6588
bicarbonato magnésico Mg(HCO ₃) ₂	73.17	0.01367	4.2789	0.2337	0.6839
carbonato magnésico (MgCO ₃)	42.16	1.02372	2.4655	0.4056	1.1869
cloruro de magnesio (MgCl ₂)	47.62	0.02100	2.7848	0.3591	1.0508
hidróxido de magnesio Mg(OH) ₂	29.17	0.03428	1.7058	0.5862	1.7155
sulfato de magnesio (MgSO ₄)	60.20	0.01661	3.5202	0.2841	0.6312

eppm = equivalentes por millón

ppm = partes por millón

gpg = granos por galón

p.p.m. CaCO₃ = partes por millón de carbonato de calcio



ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1 Remoción de materia orgánica	2
Ilustración 1.2 Desarrollo de microorganismos	3
Ilustración 1.3 Convencional	5
Ilustración 1.4 Aireación extendida	5
Ilustración 1.5 Color diferente del agua residual	6
Ilustración 1.6 Detergentes	7
Ilustración 1.7 Lodo joven	7
Ilustración 1.8 Grasas	8
Ilustración 1.9 Natas	8
Ilustración 1.10 Algas en canaletas	8
Ilustración 1.11 Aireador superficial (Fuente: CONAGUA, 2014)	9
Ilustración 1.12 Sólidos en el efluente del sedimentador	10
Ilustración 1.13 Desnitrificación	10
Ilustración 1.14 Burbujas de gas	10
Ilustración 1.15 Condiciones anaerobias	11
Ilustración 1.16 Flotación de sólidos	11
Ilustración 1.17 Arrastre de flóculos hacia la superficie	11
Ilustración 1.18 Tanque de regulación	12
Ilustración 1.19 Reactor	12
Ilustración 1.20 Desarenador	12
Ilustración 1.21 Tanque de contacto de cloro	12
Ilustración 1.22 Trayectoria de espuma	13
Ilustración 1.23 Tanque circular	14
Ilustración 1.24 Tanque rectangular (FUENTE: ABS 2009)	14
Ilustración 1.25 Aireación uniforme	15
Ilustración 1.26 Difusores obstruidos	15
Ilustración 1.27 Difusor dañado	15
Ilustración 1.28 Exceso de aireación	15
Ilustración 1.29 Puntos recomendados para muestreo	15
Ilustración 1.30 Temperatura y actividad biológica	17
Ilustración 1.31 Escala de pH y procesos biológicos	18
Ilustración 1.32 Prueba de consumo de oxígeno	20
Ilustración 1.33 Consumo de oxígeno	20
Ilustración 1.34 Tendencia DBO y DQO	22
Ilustración 1.35 Tendencia DBO/DQO	22
Ilustración 1.36 Tendencia SST y SSV	25
Ilustración 1.37 Tendencia SSV/SST	25

Ilustración 1.38 Presencia de grasas y aceites en clarificadores secundarios mayores a 100 mg/L	26
Ilustración 1.39 Presencia de grasas y aceites en reactores biológicos mayores a 150 mg/L	26
Ilustración 1.40 Bypass a la izquierda	26
Ilustración 1.41 Desvío de agua de lluvia	26
Ilustración 1.42 Determinación de manto de lodos	28
Ilustración 1.43 Equipo para la determinación de manto de lodos	28
Ilustración 1.44 Observación microscópica	29
Ilustración 1.45 Prueba de IVL	31
Ilustración 1.46 Curva de sedimentación	32
Ilustración 1.47 Relación A/M, crecimiento biológico y remoción de sustrato	35
Ilustración 1.48 Relación A/M, edad de lodos y SSTLM	35
Ilustración 1.49 TRMC en la curva de sedimentación	37
Ilustración 1.50 Esquema e identificación de corrientes	40
Ilustración 1.51 Resumen del balance de masas de proceso convencional	44
Ilustración 1.52 Resumen del balance de masas de proceso de aireación extendida	45
Ilustración 1.53 Multiparámetro	49
Ilustración 1.54 Turbidímetro	49
Ilustración 1.55 Colorímetro	49
Ilustración 1.56 Digestor	50
Ilustración 1.57 Reactivos y material	50
Ilustración 1.58 Limpieza manual de rejillas	50
Ilustración 1.59 Limpieza de sedimentador primario	51
Ilustración 1.60 Muestreador de lodos	51
Ilustración 1.61 Determinación del manto de lodos	51
Ilustración 1.62 Desnatador en operación	51
Ilustración 1.63 Medición de parámetros en tanque de aireación	52
Ilustración 1.64 Prueba de sedimentabilidad	52
Ilustración 1.65 Limpieza de canaletas	53
Ilustración 1.66 Determinación del manto de lodos	53
Ilustración 1.67 Cloro libre residual en función de la dosis de cloro para obtener la demanda de cloro	55
Ilustración 2.1 PTAR limpia y en buenas condiciones	57
Ilustración 2.2 Manuales de bombas	58
Ilustración 2.3 Actividades de mantenimiento	59
Ilustración 2.4 Limpieza de canales y rejillas	64
Ilustración 2.5 Limpieza de canal desarenador	65
Ilustración 2.6 Limpieza de entrada y salida de agua del sedimentador	65
Ilustración 2.7 Mantenimiento preventivo y ajuste de rastra	66
Ilustración 2.8 Revisión de difusores	67
Ilustración 2.9 Limpieza de canales	68
Ilustración 2.10 Sistema de cloración	68
Ilustración 2.11 Verificación de acumulación de lodos	68

Ilustración 2.12	Espesador vacío para verificar estructuras	69
Ilustración 2.13	Sistema de aireación en el digestor	70
Ilustración 2.14	Sistema de dosificación del polímero	70
Ilustración 2.15	Verificación de la buena operación	70
Ilustración 2.16	Mantenimiento preventivo a centrífuga	71
Ilustración 2.17	Revisión del impulsor	71
Ilustración 2.18	Revisión del embobinado	71
Ilustración 3.1	Identificación y solución de problemas de una bomba	75
Ilustración 3.2	Lodo abultado flotando	79
Ilustración 3.3	Lodo café flotando en la superficie	79
Ilustración 3.4	Lodo negro flotando en la superficie	80
Ilustración 3.5	Efluente turbio	80
Ilustración 3.6	Tipos de flóculos	80
Ilustración 3.7	Diferentes caminos para la estabilización de la espuma	82
Ilustración 3.8	Comparación de lodos espesados	86
Ilustración 3.9	Prueba de sedimentabilidad de tres reactores biológicos	87
Ilustración 3.10	Concentración de SST en los tres reactores biológicos	87
Ilustración 3.11	Presencia de natas en sedimentador secundario	88
Ilustración 3.12	Grupos de lodos presentes en la superficie del sedimentador secundario	89
Ilustración 3.13	Superficie del sedimentador secundario mal nivelado	89
Ilustración 3.14	Grumos grandes presentes en la superficie del sedimentador secundario	90
Ilustración 3.15	Presencia de espumas café en el tanque de aireación	91
Ilustración 3.16	Turbulencia excesiva en el tanque de aireación	91
Ilustración 3.17	Sistema de aireación en tanque de aireación	92
Ilustración 3.18	Tendencia de calidad el agua	92
Ilustración 3.19	Flotación de lodos negros en sedimentador secundario	94
Ilustración 3.20	Flotación de lodos cafés en reactor biológico y sedimentador secundario	94
Ilustración 3.21	Tanque de aireación después del tratamiento	95
Ilustración 4.1	Llenado con agua	100
Ilustración 4.2	Sistema de aireación	100
Ilustración 4.3	Llenado hasta la mitad	101
Ilustración 4.4	Cortina de agua	101
Ilustración 4.5	Tanque a un 75 por ciento del volumen	101
Ilustración 4.6	Tanque lleno	101
Ilustración 5.1	Barandales en tanque de aireación	117
Ilustración 5.2	Barandales en sedimentador secundario	117
Ilustración 5.3	Colocación de salvavidas en barandales	117
Ilustración 5.4	Agitadores superficiales	118
Ilustración 5.5	Aspas de un agitador	118
Ilustración 5.6	Vista superficial de un tanque de aireación con difusores de burbuja fina	118
Ilustración 5.7	Tanque saturado de aire	118

Ilustración 5.8 Configuración de una zanja de oxidación	119
Ilustración A.1 Aireación con difusores de disco	130
Ilustración A.2 Aireación con difusores tubulares	130
Ilustración A.3 Difusión de aire con aireador mecánico fijo	130
Ilustración A.4 Difusión de aire con aireador mecánico flotante	130
Ilustración A.5 Planta de tratamiento de lodos activados	131
Ilustración A.6 Diagrama de una planta de tratamiento de lodos activados	132
Ilustración A.7 Sistema de lodos activados flujo pistón	133
Ilustración A.8 Planta de flujo pistón Alto Urola, España (Grupo Pridesa)	134
Ilustración A.9 Sistema de aireación decreciente	134
Ilustración A.10 Sistema de mezcla completa convencional	135
Ilustración A.11 Aireación extendida	136
Ilustración A.12 Estabilización - contacto	136
Ilustración A.13 Tanque para un sistema de oxígeno puro en etapas múltiples	137
Ilustración A.14 Planta "Dulces Nombres"	138
Ilustración A.15 Zanja de oxidación aireación superficial	139
Ilustración A.16 Zanja de oxidación aireación por difusión	139
Ilustración A.17 Zanja de oxidación tipo canal simple	140
Ilustración A.18 Zanja de oxidación tipo canal doble	140
Ilustración A.19 Zanja de oxidación tipo carrusel	141
Ilustración A.20 Sistema orbal	141
Ilustración A.21 Planta orbal Ateca, Zaragoza, España (Instituto Aragonés del Agua)	142
Ilustración A.22 Sistema secuencial en lotes	142
Ilustración A.23 Planta de lotes secuenciales en operación	143
Ilustración A.24 Proceso Ludzack-Ettinger	144
Ilustración A.25 Planta de agua municipal con proceso Ludzack-Ettinger	144
Ilustración A.26 Proceso Bardenpho	145
Ilustración B.1 Típica célula bacteriana	148
Ilustración B.2 Principales formas de protozoarios en procesos de tratamiento de aguas residuales	152
Ilustración B.3 Ciliados comunes en procesos aerobios de tratamiento	152
Ilustración B.4 Ciliados "peritrichia" en procesos aerobios de tratamiento	153
Ilustración B.5 Ciliados Vorticella y Suctoria	153
Ilustración B.6 Alimentación de protozoarios (fagocitosis)	153
Ilustración B.7 Rotíferos típicos monogónada y digónada	154
Ilustración B.8 Rotíferos comunes en tratamiento de aguas residuales	155
Ilustración B.9 Estructura de nemátodos y diferencia entre las dos familias principales de nemátodos	156
Ilustración B.10 Huevos de helmintos	157
Ilustración B.11 Interacción en un flóculo	158
Ilustración B.12 Diversidad de especies y parámetros en lodos activados	160
Ilustración B.13 Formación de los flóculos	160
Ilustración B.14 Microscopio óptico	162

Ilustración B.15 Microorganismos vistos en microscopio	163
Ilustración C.1 Principales equipos que se emplean en una PTAR	165
Ilustración C.2 Recomendaciones de empleo por proceso y tipo de bomba (Adaptado de Syed R. Qasim,1994)	166
Ilustración C.3 Esquema de bomba de émbolo de simple efecto (Fuente: IMPEL de México)	170
Ilustración C.4 Esquema de cuerpo de bomba de émbolo de doble efecto (Fuente: IMPEL de México)	170
Ilustración C.5 Costo de inversión y operación del sistema de aireación (Fuente: Grupo ABS 2009)	174
Ilustración C.6 Aireadores superficiales tipo turbina	176
Ilustración C.7 Aireador superficial flotante de eje vertical y alta velocidad, con impulsor	177
Ilustración C.8 Aireador superficial	177
Ilustración C.9 Aireadores superficiales	178
Ilustración C.10 Aireador de cepillo	179
Ilustración C.11 Aireador tipo cañon	179
Ilustración C.12 Aireador sumergible autoaspirante	180
Ilustración C.13 Aireador Venturi Jet	180
Ilustración C.14 Aireador mezclador OKI	181
Ilustración C.15 Una dirección	181
Ilustración C.16 En serie	181
Ilustración C.17 Zanja de oxidación	181
Ilustración C.18 Aireador bidireccional en tanque circular	182
Ilustración C.19 Aireador radial	182
Ilustración C.20 Difusor de disco	183
Ilustración C.21 Difusor de tubo	183
Ilustración C.22 Difusor de panel	183
Ilustración C.23 Difusor de placa	183
Ilustración C.24 Densidad de difusores	184
Ilustración C.25 Distribución de burbuja	184
Ilustración C.26 Burbuja fina	184
Ilustración C.27 Componentes de un sistema de aireación	185
Ilustración C.28 Línea de cerrado	186
Ilustración C.29 Dren de agua	186
Ilustración C.30 Principio de operación	190
Ilustración C.31 Pulsaciones relativas	191
Ilustración C.32 Sopladores de lóbulos en operación	193
Ilustración C.33 Soplador centrífugo	193
Ilustración C.34 Rendimiento de un soplador centrífugo de una etapa	194



TABLAS

Tabla 1.1 Parámetros y puntos de muestreo recomendados para la evaluación del proceso	16
Tabla 1.2 Ejemplo DQO y DBO	21
Tabla 1.3 Ejemplo SST y SSV	24
Tabla 1.4 Recomendaciones de los indicadores analíticos	30
Tabla 1.5 Parámetros en plantas de lodos activados	34
Tabla 1.6 Datos iniciales para el control del tanque de aireación	39
Tabla 1.7 Cálculos para el control del tanque de aireación	41
Tabla 1.8 Balance de masa por número de corriente	44
Tabla 1.9 Balance de masa por número de corriente	45
Tabla 1.10 Resultados del control de proceso de lodos activados	46
Tabla 1.11 Comparación de resultados con parámetros recomendados	47
Tabla 1.12 Determinación de la demanda de cloro	55
Tabla 2.1 Programa de mantenimiento de julio a diciembre	60
Tabla 2.2 Registro de información	63
Tabla 3.1 Guía de problemas y soluciones para rejillas mecánicas	75
Tabla 3.2 Guía de problemas y soluciones para desarenadores	76
Tabla 3.3 Patologías frecuentes en sistemas de lodos activados	81
Tabla 4.1 Calidad del agua residual y tratada	98
Tabla 4.2 Lista y verificación de equipos por unidad de proceso	99
Tabla 4.3 Registro de parámetros de control de arranque (mg/L)	102
Tabla 4.4 Registro de prueba de sedimentabilidad e IVL	104
Tabla 4.5 Volúmenes del inóculo	105
Tabla 4.6 Principales problemas	108
Tabla A.1 Calidad del afluente de la planta de tratamiento	138
Tabla A.2 Parámetros de diseño para procesos de lodos activados	145
Tabla B.1 Eficiencias de tratamiento con o sin ciliados (protozoarios)	158
Tabla B.2 Tamaños de microorganismos y lentes recomendados para su observación	162
Tabla C.1 Descripción de bombas ABS	171
Tabla C.2 Bombas centrífugas sumergibles IMPEL	173
Tabla C.3 Factores que afectan la transferencia de oxígeno con difusores	186
Tabla C.4 Operación de un soplador	192
Tabla C.5 Especificaciones de rendimiento	194
Tabla C.6 Especificaciones de operación de algunos modelos	195
Tabla D.1 Ejemplo de la descripción del proceso de tratamiento	198
Tabla D.2 Ejemplo de como ejecutar la tarea asignada	199

Tabla D.3 Ejemplo de consideraciones de operación	201
Tabla D.4 Evaluación de indicadores sensoriales, Canal desarenador	201
Tabla D.5 Evaluación de indicadores sensoriales, Recepción de agua residual	202
Tabla D.6 Evaluación de indicadores sensoriales, Tratamiento primario	202
Tabla D.7 Evaluación de indicadores sensoriales, Sistema biológico	202
Tabla D.8 Evaluación de indicadores sensoriales, Desinfección	204
Tabla D.9 Evaluación de indicadores sensoriales, Tratamiento de lodos	204
Tabla D.10 Formatos de operación	205
Tabla E.1 Programa de mantenimiento de julio a diciembre	209
Tabla F.1 Formato para registro de calidad del agua	211
Tabla F.2 Formato para revisión de equipo electromecánico	211
Tabla F.3 Formato para registro de calidad del agua por día en mg/L	212
Tabla F.4 Formato para registro de pruebas de sedimentabilidad y obtención de IVL por día	213
Tabla F.5 Formato de registro de inóculo	213
Tabla G.1 Problemas comunes y acciones correctivas en rejillas	215
Tabla G.2 Problemas comunes y acciones correctivas en desarenadores	216
Tabla G.3 Problemas comunes y acciones correctivas en sedimentadores primarios y secundarios	217
Tabla G.4 Problemas comunes y acciones correctivas por presencia de espuma blanca	218
Tabla G.5 Problemas comunes y acciones correctivas por presencia de espuma marrones	219
Tabla G.6 Factores que afectan la transferencia de oxígeno con difusores en tanque de aireación	219
Tabla G.7 Problemas comunes y acciones correctivas en tanque de aireación	220
Tabla G.8 Problemas comunes y acciones correctivas en procesos de oxidación	221
Tabla G.9 Problemas comunes y acciones correctivas en los cloradores	222
Tabla G.10 Problemas comunes y acciones correctivas en el arranque de un sistema de lodos activados	223

