

MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES: LAGUNAS AIREADAS

48



MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES: LAGUNAS AIREADAS

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

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

ISBN: 978-607-8246-96-0

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

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

Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento

Impreso y hecho en México
Distribución gratuita. Prohibida su venta.
Queda prohibido su uso para fines distintos al desarrollo social.
Se autoriza la reproducción sin alteraciones del material contenido en esta obra,
sin fines de lucro y citando la fuente

CONTENIDO

Presentación	V
Objetivo general	VII
Introducción a la operación y mantenimiento de Lagunas aireadas	IX
1. Descripción General	1
1.1. Tipos de lagunas aireadas	2
1.1.1 Lagunas aireadas de mezcla completa	2
1.1.2 Lagunas aireadas de mezcla parcial	2
1.1.3 Componentes mínimos del proceso	3
1.1.4 Unidades	4
1.2. Factores que afectan el tratamiento	8
1.2.1 Oxígeno disuelto	8
1.2.2 Nutrientes	9
1.2.3 Potencial de hidrógeno	9
1.2.4 Sustancias tóxicas	9
1.2.5 Efecto de la temperatura	10
1.2.6 Configuración	10
1.2.7 Arreglo de una planta con lagunas aireadas	11
1.2.8 Combinaciones de lagunas	12
2. Equipos de aireación	15
2.1. Tipos de aireadores	15
2.1.1 Aireadores superficiales	15
2.1.2 Aireadores sumergidos	16
2.1.3 Aireadores tipo cañón	16
2.2. Requerimientos de oxígeno y mezclado	18
2.3. Instalación de aireadores superficiales	18
2.3.1 Recepción del equipo	19
2.3.2 Manejo del equipo	19
2.3.3 Ensamblado	19
2.3.4 Anclajes	21
2.3.5 Cable eléctrico	25
2.3.6 Conexión eléctrica del motor	26
3. Arranque y estabilización del proceso	27
3.1. Procedimiento para arrancar	27
3.1.1 Primer día	28
3.1.2 Del segundo al quinto día	29
3.1.3 Del sexto día en adelante	30

4. Seguimiento del proceso	33
4.1. Tiempo de retención hidráulica	33
4.2. Oxígeno disuelto	33
4.3. Información de laboratorio	33
4.4. Problemas operacionales y acciones correctivas	34
4.4.1 Formación de lodos	36
4.4.2 Azolvamiento	38
5. Mantenimiento	41
5.1. Registros de mantenimiento preventivo	41
5.2. Mantenimiento de equipos	42
5.2.1 Mantenimiento de aireadores superficiales	43
5.2.2 Mantenimiento de bombas	43
5.3. Mantenimiento de bordos, taludes caminos y áreas verdes	45
5.3.1 Mantenimiento de bordos y taludes	45
5.3.2 Mantenimiento de caminos	45
5.3.3 Mantenimiento de áreas verdes	46
5.4. Conservación de edificios, tanques y canales	46
5.4.1 Conservación de edificios	46
5.4.2 Conservación de tanques y canales	46
5.5. Mantenimiento de edificios	47
5.6. Resumen	48
6. Seguridad, higiene y salud ocupacional	51
6.1. Introducción	51
6.2. Seguridad	51
6.2.1 ¿Por qué la seguridad?	52
6.2.2 Pensamiento de seguridad	52
6.2.3 Servicios médicos y primeros auxilios	53
6.3. Seguridad en las plantas de tratamiento a base de lagunas aireadas	54
6.3.1 Obra de toma	54
6.3.2 Estaciones de bombeo	54
6.3.3 Desarenadores	55
6.3.4 Lagunas de aireación y estabilización	55
6.4. Higiene personal de los operadores	56
6.4.1 Precauciones contra infecciones y enfermedades	57
Conclusiones del libro	59
Bibliografía	61
Anexos	63
Tabla de conversiones de unidades de medida	69
Ilustraciones	79
Tablas	81

PRESENTACIÓN

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

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

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

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

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

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

Director General de la Comisión Nacional del Agua



OBJETIVO GENERAL

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

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



INTRODUCCIÓN A LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAGUNAS AIREADAS

Existe una gran variedad de metodologías de diseño para sistemas de tratamiento de aguas residuales, de los cuales se debe seleccionar aquel que sea el más adecuado para cada situación en específico. Para el diseño de estos sistemas, existen diversos criterios que deben ser considerados, entre los cuales se pueden mencionar el costo, la operación y el mantenimiento. Además, el diseño debe estar apegado a la normatividad correspondiente

De forma general, un sistema de tratamiento adecuado es aquél que produce la calidad del agua requerida para un determinado reúso y/o descarga a un cuerpo receptor preestablecido, al menor costo posible.

El capítulo 1, de este libro describe, de forma general los tipos de lagunas más comunes y los factores que pueden afectar su capacidad en el tratamiento de aguas residuales; en el capítulo 2 se presenta una descripción de los tipos de aireadores, sus requerimientos y recomendaciones de instalación; por su parte el capítulo 3 y el capítulo 4 brindan recomendaciones de arranque, estabilización y control para lagunas aireadas; el capítulo cinco presenta programas de mantenimiento preventivo para los distintos elementos que componen una laguna aireada y en el capítulo 6 se dan una serie de recomendaciones y se enfatiza en la importancia de los procedimientos de higiene y seguridad, que debe atender el personal encargado de la operación y mantenimiento de lagunas aireadas.



1

DESCRIPCIÓN GENERAL

Las lagunas de estabilización son una alternativa simple de tratamiento del agua residual, que aprovecha el tiempo de residencia hidráulica como principal ventaja para la remoción de materia orgánica. Las lagunas aireadas se pueden implementar cuando se requieren condiciones predominantemente aerobias, o cuando se necesita aumentar el tiempo de residencia como consecuencia de incremento del caudal, o de la carga orgánica del afluente, y el terreno no permite dicha ampliación. La principal diferencia con las lagunas de estabilización es el mecanismo de suministro de oxígeno. Mientras que en las facultativas, por ejemplo, el oxígeno es proporcionado mayormente por las algas, en el caso de las lagunas aireadas es obtenido por la acción de sistemas electromecánicos.

La ventaja que presentan las lagunas aireadas es que puede utilizarse la infraestructura de las lagunas de estabilización, e instalarse aireadores como parte de una rehabilitación, o para aumentar la eficiencia de remoción de materia orgánica.

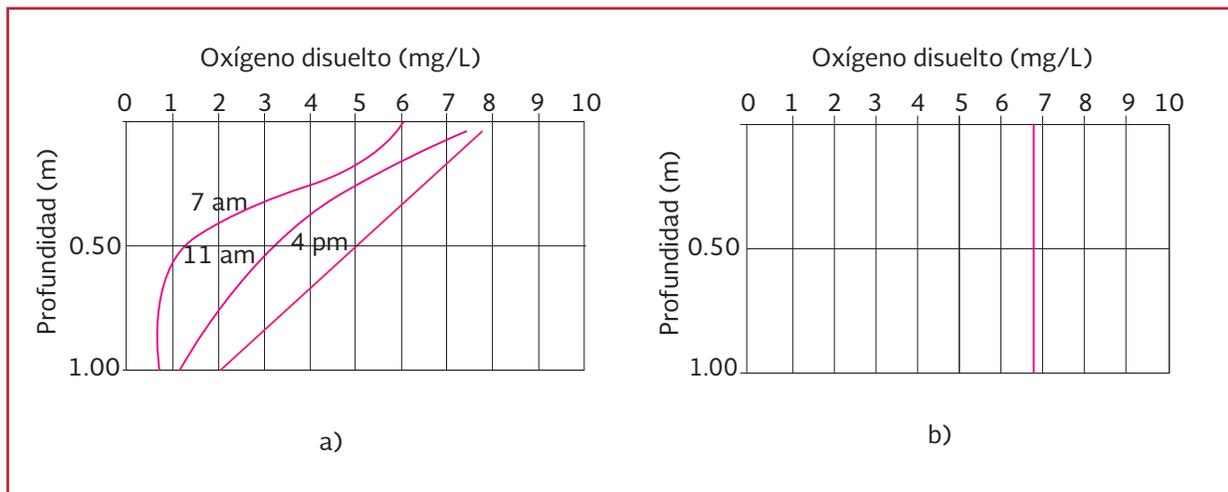
Debido a la introducción de sistemas electromecánicos, la operación y mantenimiento de las lagunas aireadas son más complicados en com-

paración con las lagunas de estabilización típicas. Por lo tanto la selección entre ellas debe ser resultado de una evaluación técnico-económica.

La diferencia principal entre un tanque de aireación empleado en los sistemas de lodos activados y una laguna aireada es que la población de microorganismos en el sistema de lodos activados se controla mediante la purga del lodo sedimentado y la recirculación en el sedimentador secundario, mientras que en una laguna aireada el paso del flujo a través de la laguna es donde la concentración de los sólidos depende de las características del agua a tratar, al igual que el tiempo de retención del sistema.

En la Ilustración 1.1 se presenta una gráfica de la distribución de oxígeno disuelto con respecto a la profundidad en el agua de una laguna sin airear y una de mezcla completa con aireación. De aquí se desprende que en una laguna sin aireación mecánica, la cantidad de oxígeno disuelto en el agua depende de la actividad de las algas de acuerdo al grado de insolación, mientras que si se produce una mezcla completa, la cantidad de oxígeno disuelto no varía. La aireación mecánica es el sistema de aireación comúnmente empleado.

Ilustración 1.1 Variación de OD a) Laguna sin airear b) Laguna aireada de mezcla completa.



1.1. TIPOS DE LAGUNAS AIREADAS

Las lagunas aireadas se clasifican según su grado de mezclado en:

1. Lagunas aireadas de mezcla completa: se diseñan con los niveles de potencia de manera tal que se alcance una mezcla completa, con la intención de mantener en suspensión todos los sólidos e incrementar la concentración de oxígeno disuelto en la masa de agua de la laguna
2. Lagunas aireadas de mezcla parcial: se diseñan con niveles de potencia de aireación para realizar una mezcla parcial y mantener en suspensión tan solo una fracción de los sólidos suspendidos, lo que propicia que se depositen en el fondo

La diferencia entre los dos esquemas es que las lagunas parcialmente mezcladas se diseñan para suministrar el oxígeno disuelto necesario para la degradación de la materia orgánica, pero no para mantener los sólidos en suspensión, y las lagunas completamente mezcladas sí.

1.1.1 LAGUNAS AIREADAS DE MEZCLA COMPLETA

La función esencial de las lagunas aireadas de mezcla completa (Ilustración 1.2) es degradar la materia orgánica aprovechando el mezclado total en el cual la biomasa encargada de degradar la materia orgánica se encuentra en suspensión; este tipo de lagunas permite convertir los residuos en tejido celular, para su posterior separación.

Dependiendo del tiempo de residencia hidráulica, el efluente contendrá de un tercio a un medio del valor de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) entrante en forma de tejido celular (Metcalf & Eddy, 2003). En lugares de clima frío se recomienda recircular parte de los sólidos para mejorar el rendimiento durante los meses invernales.

1.1.2 LAGUNAS AIREADAS DE MEZCLA PARCIAL

En una laguna aireada de mezcla parcial una parte de los sólidos entrantes y los biológicos producidos se sedimentan en el fondo de la la-

Ilustración 1.2 Laguna aireada de mezcla completa



guna. A esta masa que se acumula se le conoce como lodo bentónico.

Si la laguna presenta una cantidad considerable de lodos bentónicos el efluente estará más altamente estabilizado, es decir, presentará una variación más uniforme de materia orgánica.

La ventaja de utilizar aireadores superficiales es que permiten amortiguar mayores cargas orgánicas. Físicamente, la carga orgánica representa la velocidad con que la laguna recibe esta materia. Si la carga orgánica excede la cantidad de oxígeno suministrada por los aireadores, es posible que en la laguna se presenten condiciones anaerobias, y como consecuencia se produzcan malos olores. Por el contrario, cuando se suministra aire en demasía, sin que

se produzca una mezcla completa, se induce a la formación de zonas con diferentes condiciones de óxido-reducción. A diferencia de las lagunas aireadas en las que la mezcla completa se presenta en toda la laguna, en el caso de las lagunas aireadas de mezcla parcial sólo la zona de influencia del aireador presenta una mezcla completa (ver Ilustración 1.3).

1.1.3 COMPONENTES MÍNIMOS DEL PROCESO

En la Tabla 1.1 se enlistan los componentes con los que debe contar una planta con lagunas aireadas. Debido a la falta de terreno, a veces se omite el desarenador en el diseño. Esta decisión incrementa la frecuencia de desazolve de las lagunas.

Ilustración 1.3 Laguna aireada de mezcla parcial



Tabla 1.1 Componentes comunes en una planta de lagunas aireadas

Etapas	Propósito
Rejilla gruesa	Evitar el desgaste de equipos por sólidos gruesos así como el ingreso al sistema de tratamiento
Desarenador	Separa la arena del agua residual
Medidor de flujo	Determinar el gasto que entra a las lagunas
Lagunas aireadas mecánicamente	Remover la materia orgánica soluble y suspendida
Lagunas facultativas	Remover la materia orgánica soluble y sedimentable
Lagunas de maduración	Remover patógenos
Medidor de flujo	Medir el caudal del efluente

Dependiendo de la calidad que se espera obtener del agua tratada, en muchos sistemas se prescinde de lagunas facultativas naturales. Tomando en cuenta que por sí solas las lagunas aireadas mecánicamente cumplen con la calidad requerida del agua, se pueden usar únicamente lagunas de sedimentación o de maduración para lograr la desinfección del efluente.

1.1.4 UNIDADES

1.1.4.1 Obra de toma

Se debe realizar un cribado eficiente en la planta de tratamiento para evitar que las tuberías y los equipos de bombeo se tapen. La unidad de desarenado (Ilustración 1.4) forma parte del pretratamiento pues evita la abrasión de los equipos, permite mantener los tiempos de residencia de las lagunas y disminuir la frecuencia de las actividades de desazolve.

1.1.4.2 Medidores de flujo

Como parte del seguimiento operativo de las lagunas aireadas, la planta de tratamiento debe contener un dispositivo para medir el agua residual afluente. Los dispositivos pueden ser variados, pero generalmente se utiliza un medidor

Parshall y una placa vertedora. Este dato y el de la concentración de materia orgánica (medida como DBO o DQO) son necesarios para calcular la carga orgánica. Por otro lado, la comparación del flujo del afluente y efluente permite evaluar las pérdidas por evaporación e infiltraciones.

Un medidor de flujo proporciona datos básicos que indican cuándo se requiere una ampliación de la planta, y ayuda a detectar flujos anormales o descargas no autorizadas. El registro del caudal de agua residual tratada justifica los presupuestos anuales, y da la información necesaria para dimensionar las unidades de tratamiento en la ampliación de la planta. En la Ilustración 1.5 se presenta un medidor Parshall con lector automático.

1.1.4.3 Estructuras de entrada y salida

Las estructuras de entrada deben ser simples y estar construidas con materiales estándar, de tal manera que sus partes se localicen con facilidad. En la Ilustración 1.6 se presentan ejemplos de infraestructuras para la alimentación del afluente en una laguna de estabilización.

El número de estructuras de entrada a la laguna depende del caudal de diseño. Pueden ser 2, 3 o 4,

Ilustración 1.4 a) Obra de toma b) Canales desarenadores



Ilustración 1.5 Medidor Parshall con lector automático



Ilustración 1.6 Afluente a una laguna



estar ubicadas a lo ancho de la laguna y proporcionar el mismo caudal.

En los climas fríos las entradas del agua residual deberán estar localizadas lo más cercanas al fondo de la laguna con el fin de conservar el calor. El número de estructuras de salida de la laguna generalmente corresponde al número de estructuras de entrada, y usualmente se ubican a lo ancho de la laguna. Se acostumbra realizar la salida del agua de la laguna mediante tuberías verticales que funcionan como vertedores circulares. A

dichas tuberías se les suele encamisar tubos, lo que forma uno de fricción móvil (también llamado tubo telescópico), que permite modificar el tirante de agua en la laguna. En la Ilustración 1.7 se muestra la estructura de salida de una laguna aireada mediante una tubería telescópica. En lugares muy fríos, las lagunas se deben descargar mediante tubería sumergida para evitar la obstrucción del hielo que se forma en la superficie.

Es común que el crecimiento de lama, colonias de microorganismos y sólidos obstruyan

el buen funcionamiento de los tubos de fricción móviles si no se limpian frecuentemente. El crecimiento biológico puede eliminarse en este tipo de dispositivos con dosis ocasionales de hipoclorito de sodio. En zonas muy frías, la temperatura produce que los tubos de variación de carga hidráulica se atoren. Cuando pase esto, se deben usar anillos de polietileno entre los tubos. El tubo que se desplaza hacia arriba o hacia abajo debería actuar como tubo flotante y evitar que pase cualquier tipo de materia para que el

tubo del efluente no se tape. Una forma de sacar el agua de la laguna es a través un vertededor de agujas, que consiste en una caja provista de un vertedor móvil (generalmente hecho de tablo-nes), en donde el efluente se controla por medio de una válvula manual (Ilustración 1.8).

Otra forma muy usual de estructura de salida de lagunas para pasar el agua a una caja de válvulas se presenta en la Ilustración 1.9 donde el tirante de la laguna se controla mediante un vertedor.

Ilustración 1.7 Estructura de salida de una laguna aireada mediante un tubo de fricción móvil (tubo telescópico)

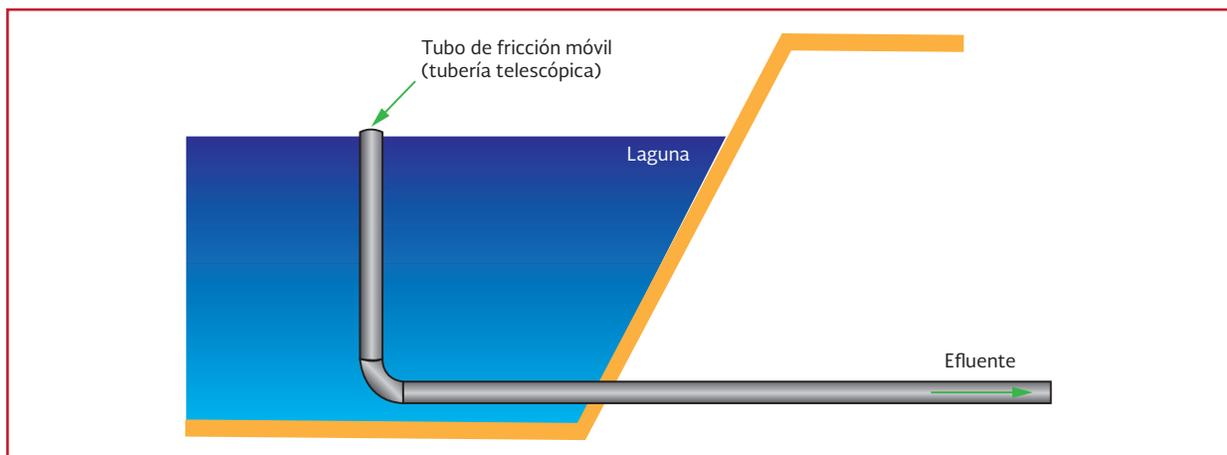


Ilustración 1.8 Estructura de salida de una laguna aireada

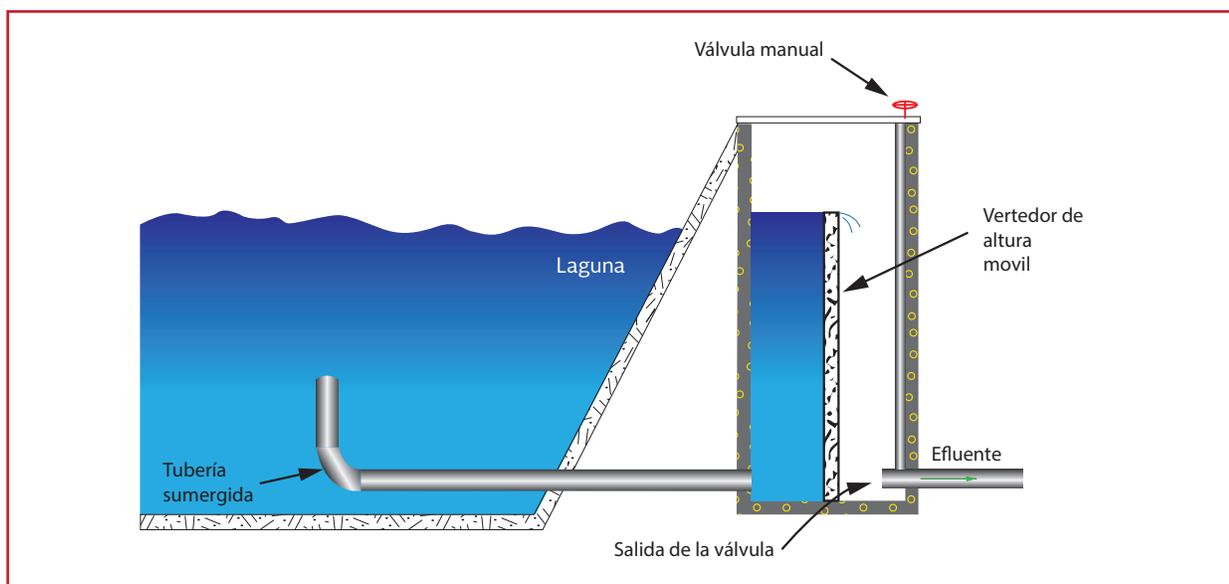
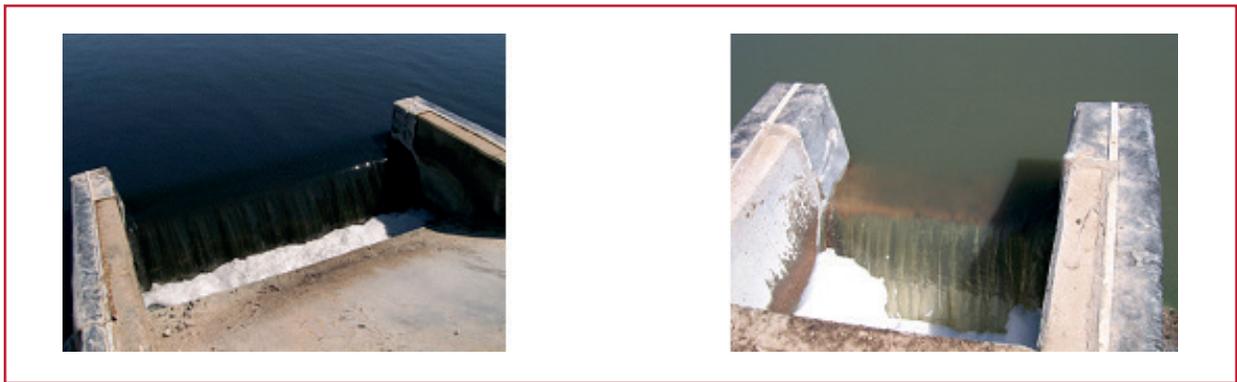


Ilustración 1.9 Efluentes de lagunas



Si el efluente de la laguna descarga en un cuerpo receptor, se deben evitar las descargas a cielo abierto y preferir que sean submarinas para minimizar los olores. Si la planta de tratamiento tiene una descarga superficial, el material flotante debe eliminarse frecuentemente.

1.1.4.4 Bordos

La selección de la pendiente de los bordos depende de diversas variables. Una pendiente muy vertical se erosiona más rápido por efecto de las olas en la laguna, a menos de que se proteja con un zampeado a base de rocas unidas con cemento. Una ventaja de este tipo de pendiente es que minimiza el crecimiento de malezas, pero dificulta las actividades de operación y mantenimiento de rutina. Una pendiente suave, por el contrario, se erosiona muy poco por efecto de las olas y permitirá realizar más fácilmente las actividades rutinarias de operación y mantenimiento. Sin embargo, este diseño favorecerá el crecimiento de la maleza a lo largo del nivel del agua en el bordo.

Es necesario asegurar la compactación y el sellado de los bordos para evitar fugas. Las tuberías que atraviesan los bordos de la laguna deben atravesarla de la manera más horizontal posible

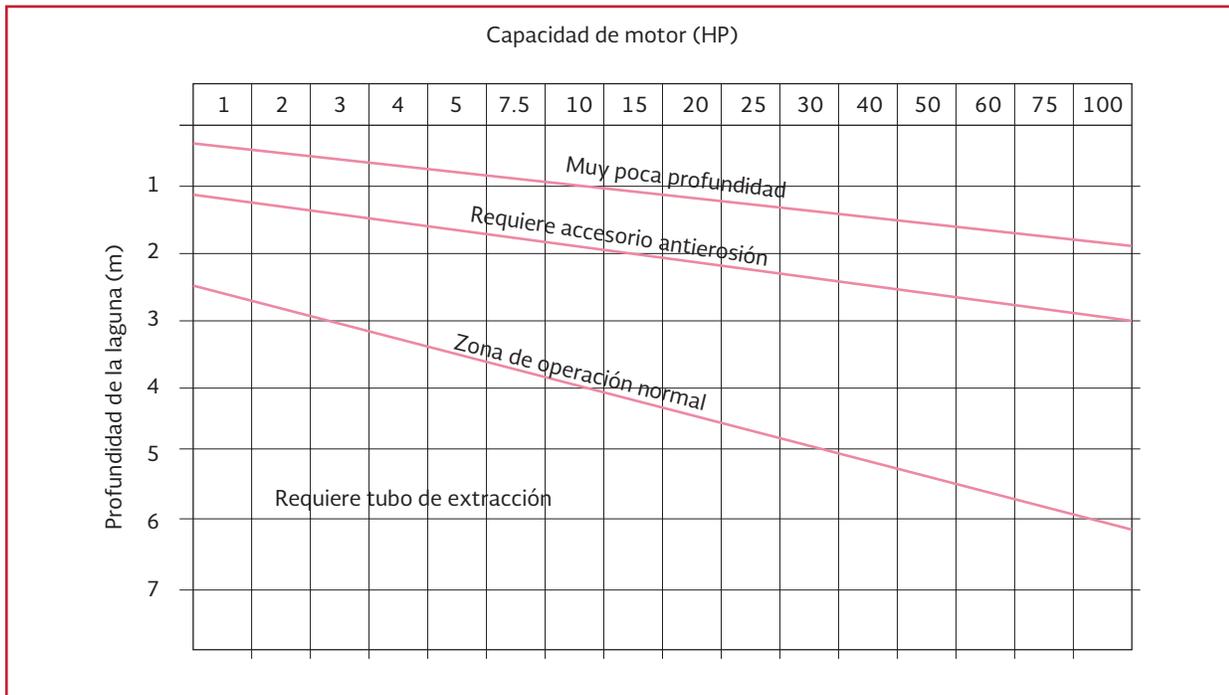
para reducir la posibilidad de fugas. Todas las estructuras deben instalarse con mucho cuidado. Cuando se colocan las tuberías de entrada o salida en los bordos, no se debe olvidar compactar y sellar muy bien alrededor de las tuberías, tanto en la parte interna de la laguna como en la externa. Hay que considerar los mismos cuidados para su instalación.

1.1.4.5 Profundidad

La profundidad influye directamente en la operación, sobre todo en lagunas aireadas mecánicamente, por lo que es necesario ponerle especial atención cuando se revisan los planos de las lagunas. Es importante cerciorarse de que el equipo de aireación sea el adecuado para la profundidad de la laguna. En la Ilustración 1.10 se presentan las profundidades requeridas en lagunas aireadas para varias capacidades o tamaños de motor, así como los accesorios requeridos para evitar la erosión o aumentar el mezclador.

En el caso de lagunas de mezcla completa es necesario verificar si el aireador puede mantener en suspensión todos los sólidos sin el uso de accesorios adicionales, o si hace falta acondicionarle algunos de acuerdo a su profundidad.

Ilustración 1.10 Potencia de aireadores de succión vs profundidad de la laguna



1.1.4.6 Cercas de protección y señalamientos

Toda el área de la planta debe estar cercada, de manera que se prevenga la entrada de ganado y personas ajenas a ella. La planta de tratamiento debe tener una entrada lo suficientemente amplia para permitir el paso de vehículos. Todas las entradas de acceso deben cerrarse con llave o candado. En la cerca deben colocarse señalamientos que indiquen la naturaleza de la planta de tratamiento y que prohíban la entrada a personas ajenas a la misma. Estos señalamientos deben estar puestos aproximadamente a 100 m de distancia entre sí.

1.2. FACTORES QUE AFECTAN EL TRATAMIENTO

1.2.1 OXÍGENO DISUELTO

En las lagunas aireadas mecánicamente el oxígeno es proporcionado por inducción a través

de los aireadores mecánicos superficiales, y en las lagunas facultativas naturales es proporcionado por las algas. El oxígeno se combina con varias sustancias para formar óxidos y desdobra muchos compuestos de fórmulas moleculares complejas, formando sustancias más simples que pueden servir de alimento para varios microorganismos. Puesto que el oxígeno oxida la materia orgánica, disminuirá en proporción a la cantidad de materia orgánica presente; este proceso se conoce como demanda de oxígeno del desecho, es decir, del agua residual.

El agua residual únicamente puede mantener disuelta una cierta concentración de oxígeno. Cuando la cantidad de oxígeno que entra al agua iguala a la máxima cantidad que soporta, se dice que el agua está saturada. En las lagunas facultativas naturales que contienen algas el agua puede estar sobresaturada con oxígeno. En general, el viento tiende a remover el oxígeno del agua cuando la laguna está sobresaturada. Cuando el

oxígeno disuelto es menor a la cantidad de saturación, el viento ayuda a introducirlo en el agua.

La concentración de la materia orgánica puede medirse indirectamente con la DBO. Esta prueba mide la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos en un periodo de 5 días para oxidar la materia orgánica durante ese mismo tiempo. Si la demanda de oxígeno del agua residual que entra a una laguna es mayor que la cantidad que se está introduciendo, los microorganismos aerobios no se desarrollarán, lo que propiciará condiciones de óxido-reducción anaerobias en la laguna, con los subsecuentes problemas operacionales característicos: efluentes turbios, malos olores y crecimiento de microorganismos filamentosos.

1.2.2 NUTRIENTES

Sin una cantidad suficiente de nutrientes las bacterias no pueden crecer y multiplicarse; aunque también se requieren minerales, los nutrientes indispensables son el nitrógeno y el fósforo. Las aguas residuales municipales generalmente tienen la cantidad suficiente de todos los nutrientes. Una recomendación para evaluar la disponibilidad de nutrientes, es mediante la relación de concentraciones de DBO, nitrógeno y fósforo, los cuales deben encontrarse en proporciones de 100/5/1 respectivamente.

1.2.3 POTENCIAL DE HIDRÓGENO

El tratamiento del agua residual mediante lagunas requiere de un ambiente alcalino para operar en óptimas condiciones, con un pH entre 7.5 y nueve. Los operadores deben verificar el pH del afluente para cerciorarse de que no están ingresando sustancias tóxicas a la laguna. El color de las lagunas facultativas naturales se relaciona con el pH y

ayuda al operador a predecir problemas. El color verdoso indica un pH alcalino, un color amarillento verdoso indica un pH más bajo. Hay que tener cuidado cuando un viento fuerte agita el fondo de la laguna, o si entran desechos industriales muy coloreados, pues en estos casos el pH puede no estar relacionado con el color. Es recomendable llevar un control de esta variable operativa.

En las lagunas facultativas naturales un pH bajo puede corregirse dejando fuera de operación la laguna por 2 o 3 días. En este tiempo el pH cambia durante todo el día (bajo en la madrugada y alto en la tarde), debido a que las algas son más activas durante los días de luz, y las reacciones químicas hacen que el pH se incremente. El CO_2 producido por las bacterias durante la noche hace que el pH disminuya. Si de todas maneras no se logra incrementar el pH (lo que es poco frecuente), se pueden utilizar soluciones químicas como sosa cáustica para aumentarlo, y ácido sulfúrico para disminuirlo. Cuando el pH del afluente sea bajo, se recomienda distribuir este afluente en todas las lagunas disponibles para minimizar el efecto.

1.2.4 SUSTANCIAS TÓXICAS

Las sustancias tóxicas son un factor de inhibición para cualquier proceso biológico. Generalmente provienen de desechos industriales de tipo metalmecánico, productos para la agricultura (plaguicidas) y del suero de productos farmacéuticos y refinerías, entre otras. Cuando haya indicadores de que un desecho tóxico está llegando a las lagunas aireadas, hay que distribuir el afluente en las lagunas disponibles o utilizar la derivación para evitar desestabilizar el proceso. Cada caso particular deberá ser evaluado pero es importante tomar medidas de

control de descargas de este tipo. Cabe mencionar que aunque ciertos materiales orgánicos, especialmente plaguicidas y antibióticos de la industria, pueden causar problemas de toxicidad en las lagunas aireadas, el metabolismo de los microorganismos puede degradar y asimilar tales sustancias, especialmente después de un periodo de aclimatación.

Aunque no se tienen datos referentes a los niveles de toxicidad de metales pesados que pueden ser tolerados por el proceso de lagunas aireadas, se puede tomar como referencia las concentraciones permisibles de metales pesados en el proceso de lodos activados (Tabla 1.2).

1.2.5 EFECTO DE LA TEMPERATURA

La temperatura puede generar dos tipos de efecto en la eficiencia de las lagunas:

1. Cinéticos. Con el incremento de la temperatura se incrementa la velocidad y degradación de la materia orgánica, influenciado por la solubilidad del oxígeno en el agua
2. Hidrodinámico. Es posible que influya en la formación de flujos preferenciales o zonas muertas

1.2.6 CONFIGURACIÓN

Aunque resulte menos costoso, no se recomienda dar a las lagunas la geometría que fija una determinada curva de nivel, pues se generan formas caprichosas con zonas muertas difíciles de airear, en las cuales se acumulan sólidos, grasas y aceites. La forma recomendada es la rectangular, aunque se puede adaptar a las formas del terreno con el que se cuente. Normalmente, el largo es de 1.25 a 1.5 veces el ancho.

En la Ilustración 1.11 se presentan diferentes geometrías de lagunas aireadas. Las lagunas parcialmente mezcladas pueden oscilar entre los 0.90 m y los 2.40 m de profundidad y las de mezcla completa entre los 1.80 m y 6 metros.

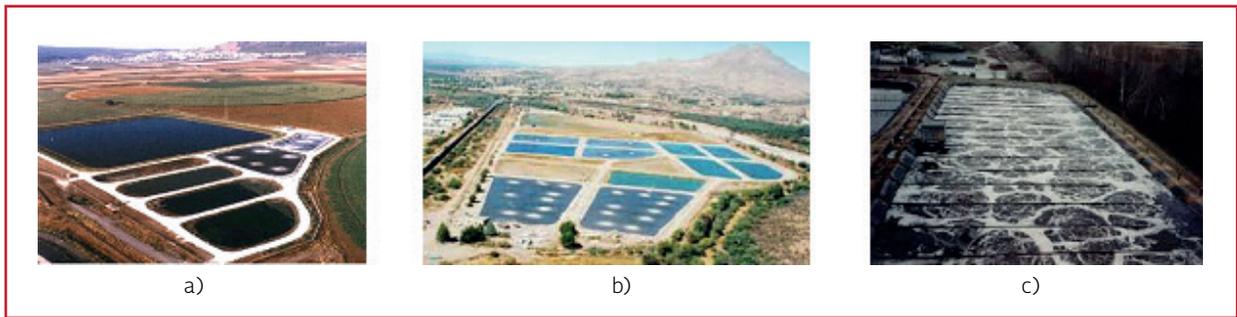
Otras consideraciones sobre la configuración de las lagunas son:

1. Los bordes de la laguna (vías de acceso) deben tener un ancho mínimo de 2.4 m para permitir el acceso de vehículos de mantenimiento
2. Las pendientes externas de las lagunas se prefieren de 4/1 (4 horizontal/1 vertical) o 5/1, de tal manera que se pueda cortar el zacate con podadora motriz

Tabla 1.2 Concentraciones permisibles de metales pesados en el proceso de lodos activados (NOM-004-SEMARNAT-2002)

Contaminante	Excelentes	Buenos
(Determinados en forma total)	mg/kg en base seca	mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

Ilustración 1.11 Diversas geometrías de lagunas aireadas. Las lagunas en a) y b) siguen la topografía del terreno y c) presenta una forma rectangular



3. Las pendientes internas deben estar de acuerdo con las características del suelo en cuestión, aunque se pueden usar las mismas pendientes del exterior de la laguna. Se prefieren usar 3/1 o 2/1 debido al depósito de sólidos y crecimiento de hierbas
4. Se acostumbra usar un mínimo de 0.90 m de bordo libre
5. El fondo de la laguna debe ser nivelado y las esquinas redondeadas
6. Cuando se usen aireadores, se debe proteger el fondo con un firme de concreto de 10-15 cm de espesor, redondo o cuadrado. Se recomienda seguir las instrucciones del fabricante
7. Si el suelo es permeable hay que rellenarlo con capas de arcilla compactada para evitar filtrado

1.2.7 ARREGLO DE UNA PLANTA CON LAGUNAS AIREADAS

Lo ideal es que las lagunas aireadas cuenten con los elementos descritos en la Tabla 1.3; sin embargo, algunas veces se omite el desarenador (una operación unitaria de relevancia que evita que las lagunas se azolven) debido a la falta de terreno, y esto provoca un incremento en la frecuencia del mantenimiento de las lagunas.

Se puede prescindir de lagunas facultativas naturales si se considera que las lagunas aireadas mecánicas cumplen con la calidad requerida del agua tratada, y únicamente se emplean lagunas de maduración para lograr la desinfección del efluente.

Se recomienda usar la rejilla gruesa para evitar la entrada de basura y sólidos grandes, y el sis-

Tabla 1.3 Elementos comunes en una planta de lagunas aireadas

Etapas	Propósito
Rejilla gruesa	Separar los sólidos grandes acarreados por el alcantarillado, tales como: palos, trapos, latas, plásticos, etcétera
Desarenador	Retirar la arena del agua residual
Medidor de flujo en el afluente	Medir el caudal que ingresa a las lagunas
Aireación	Remover la materia orgánica soluble y suspendida
Lagunas facultativas naturales	Remover la materia orgánica soluble y sedimentable
Lagunas de maduración	Remover gérmenes patógenos del efluente
Medidores de flujo en el efluente	Medir el caudal que sale del sistema de tratamiento

tema de medición de flujo en cualquiera de sus formas.

1.2.8 COMBINACIONES DE LAGUNAS

Usualmente se combinan lagunas aireadas con lagunas de estabilización, facultativas y de maduración. En la Ilustración 1.12 se presentan diferentes diagramas típicos de flujo de operación cuando se tienen 2, 3 y 4 lagunas. Los esquemas de color verde representan lagunas aireadas, ya sea de mezcla parcial o completa, y los de color azul representan el tratamiento mediante lagunas de estabilización.

1.2.8.1 Alternativas de operación

Cuando hay dos lagunas aireadas mecánicamente es común encontrarlas operando en serie. Se recomienda que la primera laguna sea de mezcla completa y la segunda de mezcla parcial, ya que de esta manera se puede controlar el oxígeno disuelto en ambas lagunas.

Otro arreglo común consiste en una laguna mecánicamente aireada y una, dos o tres lagunas facultativas naturales. En este caso, la eficiencia de la planta de tratamiento no depende únicamente de la laguna aireada sino también de las lagunas facultativas naturales, por lo que hay que considerar lo siguiente:

La operación en serie de dos o más lagunas facultativas naturales tiende a minimizar la

producción de algas en la última laguna, lo que mejora la calidad del efluente. Por esta razón las lagunas frecuentemente son operadas en serie durante los meses calurosos (primavera y verano), cuando la producción de algas es más alta.

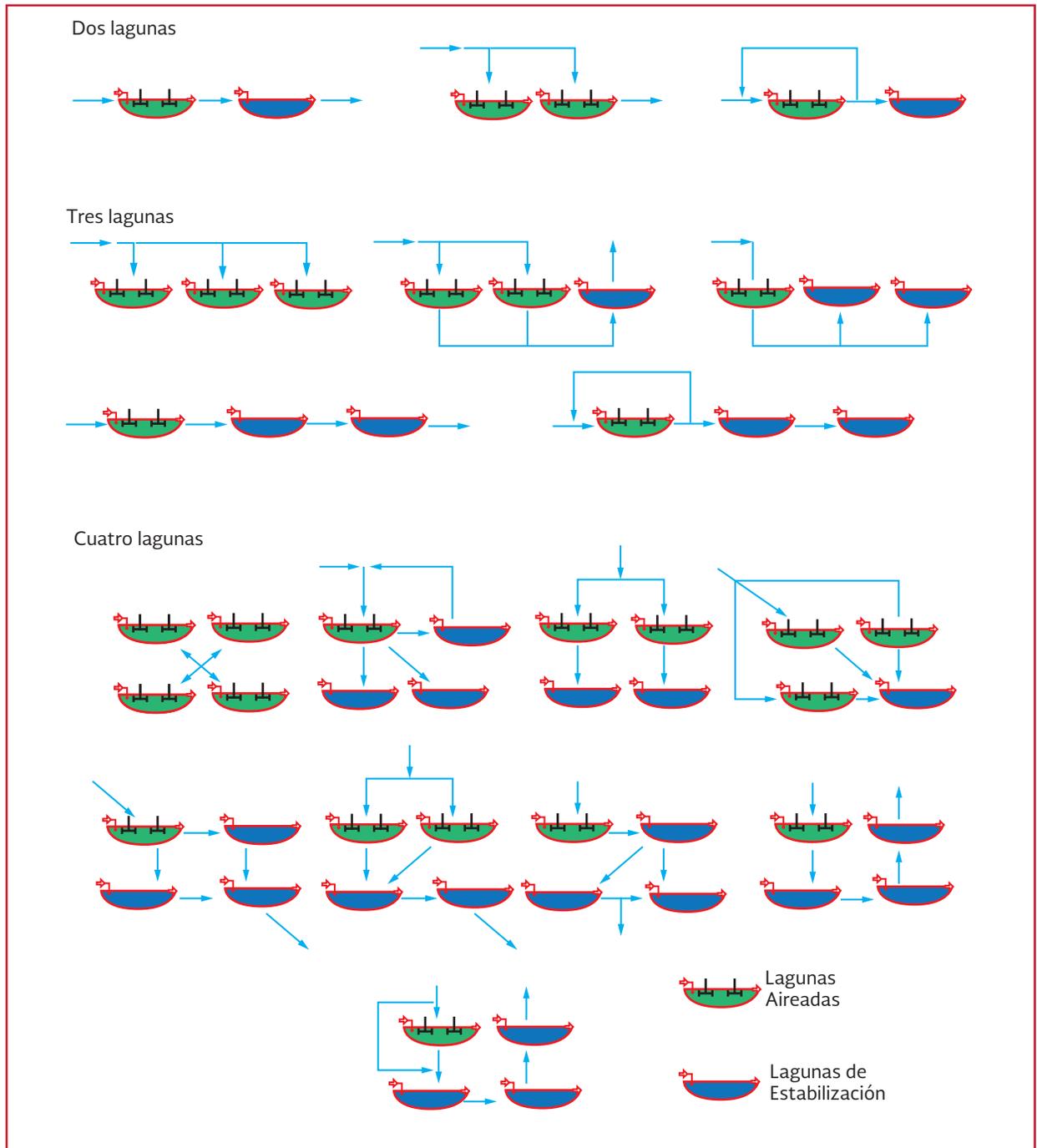
La velocidad de degradación de la materia orgánica durante el invierno es menor, por lo que si hay varias lagunas facultativas naturales después de una laguna aireada mecánicamente, se recomienda operarlas en paralelo de manera que los sólidos y la materia orgánica puedan ser distribuidos en un área más grande.

1.2.8.2 Recirculación

La recirculación es una manera de mejorar las condiciones de operación de cualquier sistema de tratamiento. En un sistema combinado de lagunas aireadas mecánicamente con lagunas facultativas y de maduración, la recirculación se lleva a cabo mezclando el agua cruda con la proveniente de la última laguna para mejorar el oxígeno disuelto en las partes muertas, lo cual ayuda a prevenir olores y condiciones anaerobias.

En las lagunas aireadas mecánicamente la recirculación se hace por bombeo directamente de la tubería del efluente. En este caso se acelera el proceso de estabilización de la laguna cuando se ha puesto recientemente en operación, y se puede manejar una determinada cantidad de sólidos suspendidos.

Ilustración 1.12 Diagramas típicos de operación según el número de lagunas





2

EQUIPOS DE AIREACIÓN

2.1. TIPOS DE AIREADORES

En la actualidad hay dos tipos principales de aireadores mecánicos que son usados en lagunas aireadas y procesos de lodos activados; se clasifican en superficiales y sumergidos. En los aireadores superficiales el oxígeno se introduce al agua residual mediante el contacto del aire de la atmósfera con pequeñas gotas producidas por la agitación mecánica del aireador en el agua residual. En cambio, en los aireadores sumergidos el oxígeno se introduce mediante inyección en una tubería, de aire que llega hasta el fondo del tanque.

El diseñador del sistema de tratamiento debe seleccionar el equipo de aireación dependiendo del lugar donde se encuentra la planta, la altitud sobre el nivel del mar, las concentraciones de oxígeno disuelto deseadas en condiciones de operación, la transferencia de oxígeno proporcionada por el fabricante, etc. Desde el punto de vista de la operación y mantenimiento, deberá tomarse en cuenta:

1. Su facilidad de manejo, de tal manera que el equipo pueda ser extraído de la laguna sin necesidad de interrumpir el sistema de tratamiento
2. Su facilidad de reparación, con la certeza de que el fabricante proporcionará oportu-

amente cualquier refacción para su reemplazo inmediato

2.1.1 AIREADORES SUPERFICIALES

Los aireadores superficiales más empleados en los sistemas de lagunas aireadas son los mecánicos y los del tipo cañón.

2.1.1.1 Aireadores mecánicos

Los aireadores mecánicos constituyen el equipo más simple para sistemas de aireación y son fabricados de 1 a 100 HP de capacidad. Poseen una propela o impulsor conectado a un motor mediante una flecha, y todo esto se monta en una estructura fija de concreto o en flotadores de acero inoxidable o fibra de vidrio rellenos con poliuretano. En la Ilustración 2.1 se presentan diferentes tipos de impulsores para aireadores.

Las propelas e impulsores son fabricados en acero inoxidable 316 y 304, acero al carbón y aleaciones resistentes a la corrosión; se usan para agitar vigorosamente el agua residual y provocar un cambio rápido de la interfaz aire-agua que facilita la introducción de oxígeno en el agua residual. En la Ilustración 2.1 se presentan los diferentes instrumentos para la agitación del agua en aireadores.

Ilustración 2.1 Impulsores de agitación del agua en aireadores



Los aireadores mecánicos pueden ser clasificados de acuerdo a la velocidad de la propela o impulsor, en aireadores de baja y alta velocidad. En los aireadores de baja velocidad el impulsor es accionado por un reductor de velocidad, el cual a su vez es movido por un motor eléctrico. El motor y el reductor de velocidad son sostenidos por una plataforma de concreto, pero pueden también ser sostenidos por flotadores. En los aireadores de alta velocidad la propela es accionada por un motor montado en flotadores que permiten que los aireadores puedan sumergirse igual que la propela o impulsor cuando varía el nivel del agua en la laguna. En la Ilustración 2.2 e Ilustración 2.3 se muestran un esquema y una fotografía de aireadores mecánicos superficiales.

2.1.2 AIREADORES SUMERGIDOS

En los aireadores sumergidos, el oxígeno se incorpora al agua residual de la atmósfera introduciendo el aire desde el fondo de la laguna. En el mercado existen dos tipos de aireadores sumergidos, los de motor externo, también llamados tipo turbina, y los de motor sumergido, también conocidos como aireadores mezcladores.

2.1.2.1 Aireadores tipo turbina

En este tipo de aireadores el aire puede introducirse mediante una tubería que va en el fondo del aireador. La turbina se usa para dispersar las burbujas de aire y mezclar el agua de la laguna o tanque de aireación (ver Ilustración 2.5 e Ilustración 2.6). De acuerdo a la dirección de salida del aire de la turbina se clasifican en flujo axial y flujo radial.

En los dos tipos de aireadores, la acción del bombeo ayuda a mantener el contenido de agua residual de las lagunas en condiciones de mezcla parcial o completa.

2.1.2.2 Aireadores mezcladores

En este tipo de aireadores el motor que inyecta el aire a presión forma una unidad con el difusor, produciendo burbujas pequeñas o medianas y un mezclado horizontal (Ilustración 2.7).

2.1.3 AIREADORES TIPO CAÑÓN

Los aireadores tipo cañón se encuentran disponibles en el mercado de 2 hasta los 100 HP de potencia. Están compuestos por un motor, un

Ilustración 2.2 Aireadores mecánicos superficiales

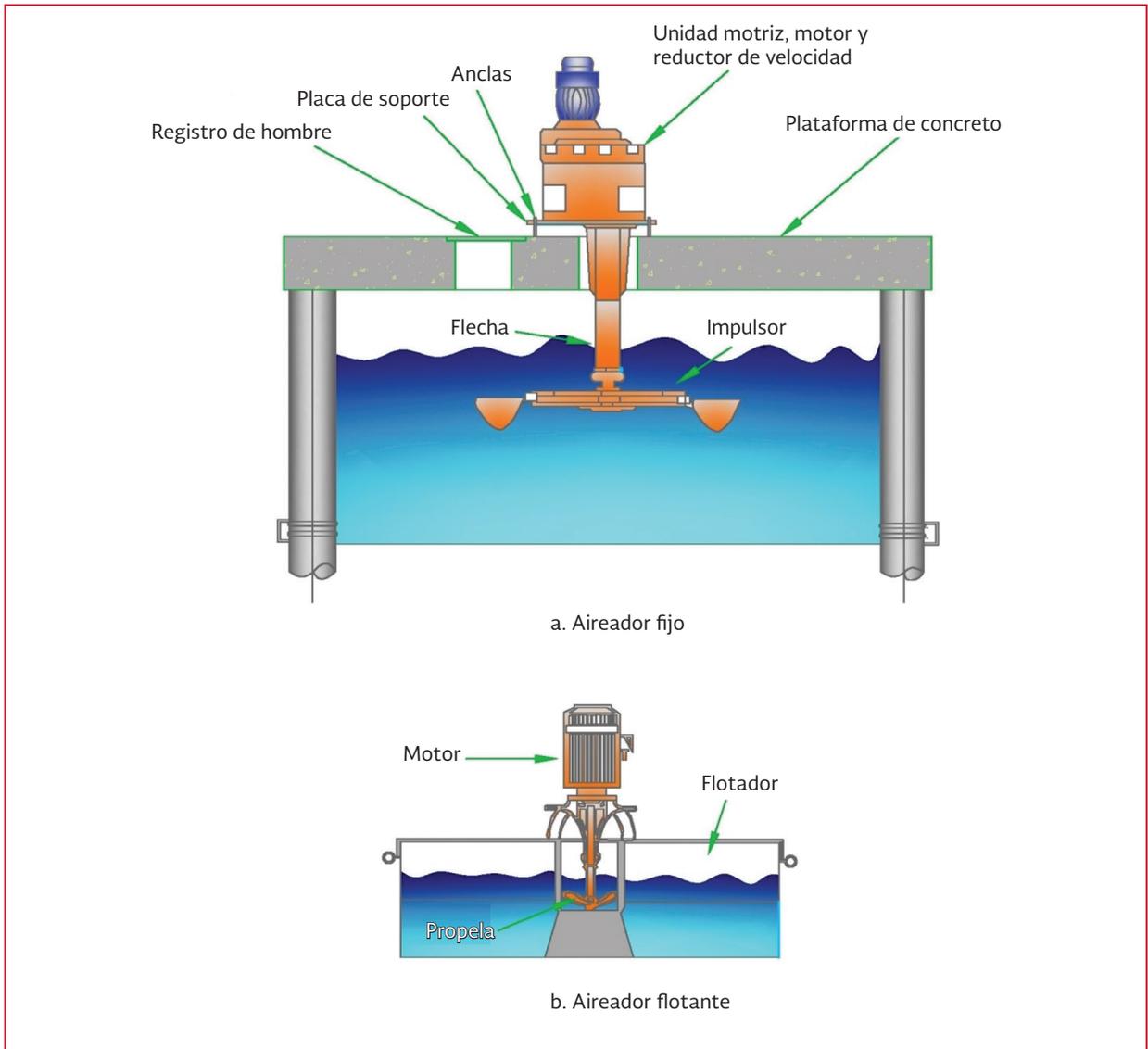


Ilustración 2.3 Aireadores instalados a) Aireador fijo y b) Aireador flotante



tubo de inyección y una hélice montados sobre una balsa. Presentan la ventaja de poder inclinar el tubo de inyección de aire y provocar una corriente de circulación de agua. Este tipo de aireadores produce un chorro de aire presurizado que previene cortos circuitos hidráulicos, y reduce la pérdida de calor en el agua, lo que contrarresta las condiciones ambientales extremadamente frías del invierno (Ilustración 2.8 e Ilustración 2.4).

2.2. REQUERIMIENTOS DE OXÍGENO Y MEZCLADO

El tratamiento del agua se realiza con el fin de obtener la calidad de salida que cumpla con los estándares requeridos por la normatividad en la utilización del agua tratada. En la remoción de la materia orgánica, medida como DBO, se ha determinado empíricamente que la cantidad de oxígeno diario requerido para remover una determinada cantidad de DBO está dada por la siguiente ecuación.

$$RO = aQ \frac{(S_0 - S)}{1000} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Ilustración 2.4 Aireadores tipo cañón funcionando



donde:

- RO = Requerimientos de oxígeno, kg O₂/d
- a = coeficiente de utilización de oxígeno, varía de 0.8 a 1.2 kg O₂/kg DBO
- Q = Caudal, m³/d
- S_0 = DBO del afluente, mg/L
- S = DBO del efluente, mg/L

La Ecuación 2.1 proporciona la cantidad diaria aproximada de oxígeno requerida para determinar las necesidades de aireación. Sin embargo, determinar la forma de aireación, la potencia requerida, así como seleccionar y colocar los aireadores dependerá del procedimiento de diseño.

2.3. INSTALACIÓN DE AIREADORES SUPERFICIALES

La operación óptima de las lagunas aireadas mecánicamente depende del cuidado que se tenga con los aireadores mecánicos superficiales, por lo cual se recomienda una instalación apropiada.



2.3.1 RECEPCIÓN DEL EQUIPO

Al recibir los aireadores mecánicos superficiales se debe verificar que cada una de las piezas esté en buen estado. Si el equipo está dañado o falta alguna pieza, hay que notificar inmediatamente al fabricante porque en ocasiones sólo se dan unos cuantos días para manifestar inconformidades.

2.3.2 MANEJO DEL EQUIPO

Los aireadores superficiales deben manipularse con mucho cuidado; muchas veces será necesario utilizar una grúa que facilite su instalación. El motor del aireador tiene unas argollas diseñadas especialmente para levantarlo y moverlo de un lugar a otro; se recomienda verificar que estas argo-

llas estén lo suficientemente apretadas. Antes de levantar el aireador se debe comprobar que el peso se reparta de la manera más uniforme posible entre el número de argollas.

2.3.3 ENSAMBLADO

Para ensamblar las partes que componen el aireador superficial se deben seguir las instrucciones del fabricante.

Los aireadores de 1 a 15 HP vienen ya ensamblados, listos para instalarse. En cambio, los aireadores de 20 a 75 HP suelen venir sin ensamblar. Estas unidades tienen 3 partes: el motor, los flotadores y el cono de succión/cruz antivórtice con plato antierosión. El cono de

Ilustración 2.5 Aireadores tipo turbina

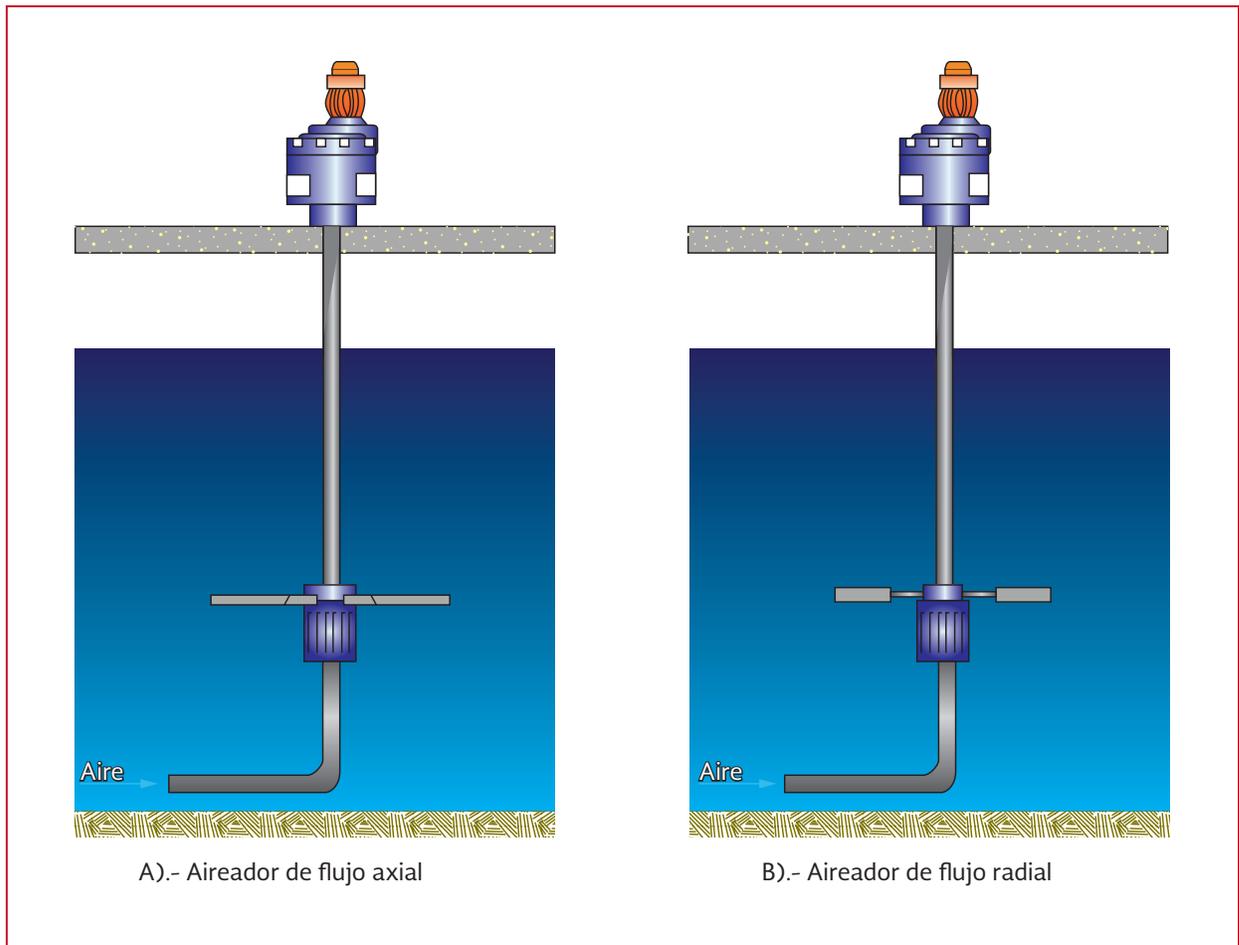


Ilustración 2.6 Aireadores tipo turbina a) Flujo axial y b Flujo radial

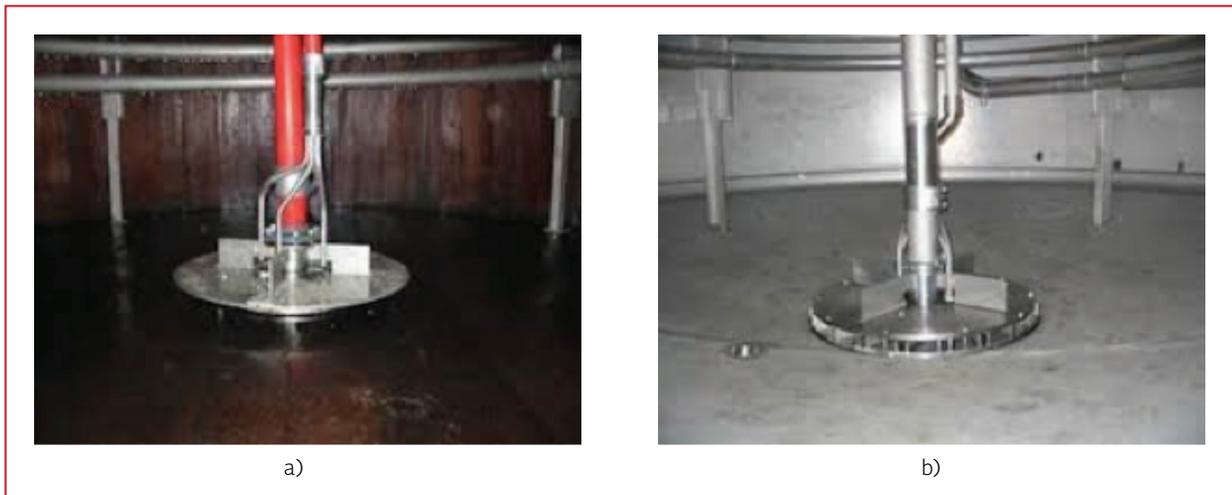
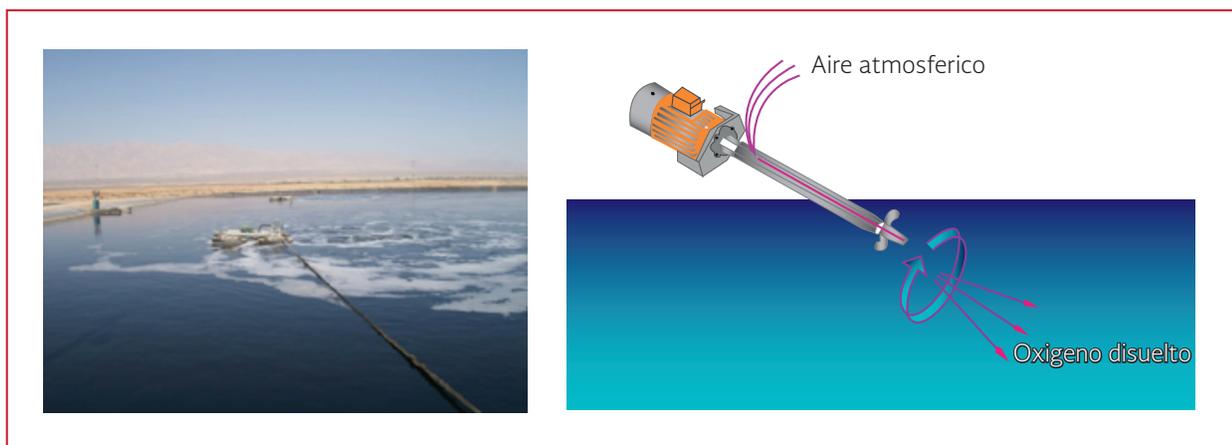


Ilustración 2.7 Aireadores mezcladores



Ilustración 2.8 Aireadores tipo cañón



succión y accesorios deben ensamblarse en la parte inferior del flotador, asegurando su buena sujeción. Después se pone el flotador en posición vertical para instalar el motor, la flecha y la propela. La propela debe quedar bien centrada en la voluta para empezar a bajar lentamente el motor. Usualmente el flotador tiene una marca que concuerda con el diámetro interno de la cabeza de difusión. Si las marcas concuerdan, el flotador está perfectamente alineado; se colocan los tornillos y se aprietan. Se debe utilizar una estructura apropiada para ensamblar las partes del aireador. En la Ilustración 2.9 se presentan las partes de un aireador flotante.

Una vez que la unidad ha sido ensamblada debe levantarse con grúa usando las argollas superiores del motor. Cuando la unidad del flotador sea colocada en el agua de la laguna, debe llevarse flotando hasta el sitio donde será instalada. Se recomienda usar dos lanchas de remos o motor para esta operación. En la Ilustración 2.10 se presentan fotografías de la maniobra de introducción de aireadores en la laguna

2.3.4 ANCLAJES

Los aireadores mecánicos superficiales pueden ser anclados o sujetos de varias maneras. Los métodos más comunes son el de 3 y el de 4 puntos. Revise los puntos de anclajes o sujeción de aireadores superficiales, clip y ojal, panel, cable de anclaje.

2.3.4.1 Lagunas de aireación recién construidas

Cuando las lagunas aireadas son de construcción reciente, los aireadores superficiales pueden anclarse en los bordos o en el fondo con bloques de concreto. Los puntos de anclaje deben estar localizados de tal manera que los aireado-

res queden distribuidos uniformemente en toda la laguna, tomando en consideración el diámetro de influencia.

2.3.4.2 Puntos de anclaje en el fondo

Para anclar el aireador superficial al fondo, se recomienda que se usen 4 puntos de anclaje. Las anclas (bloque de concreto con argolla) deben estar localizadas a un ángulo de 30° (o menos) del fondo de la laguna a la posición del aireador. Debe proporcionarse suficiente cable para que el aireador pueda moverse verticalmente cuando el nivel del agua varíe en la laguna por conveniencia operacional.

Se recomienda colocar un flotador a cada cable de anclaje para evitar que se hunda cuando se hagan reparaciones al aireador, y poner un cable y un flotador a los puntos de anclaje para tenerlos localizados. Los cables deben ser de acero inoxidable. En la Ilustración 2.11 se muestra la posición de los bloques de concreto para anclar aireadores. En la Tabla 2.1 se muestran los tamaños para cuando el anclaje se hace con bloques de concreto localizados en el fondo de la laguna.

2.3.4.3 Anclaje en bordos

Si se opta por anclar los aireadores en los bordos de la laguna, se puede elegir entre 3 y 4 puntos de anclaje. Es necesario dejar suficiente cable para permitir que el aireador se mueva verticalmente cuando el nivel del agua varíe. El cable no debe estar muy tensionado ni muy flojo.

2.3.4.4 Anclaje en el fondo

En el caso de que la laguna ya esté operando y se decida anclar los aireadores en el fondo, hay que seguir las mismas recomendaciones hechas para las

Ilustración 2.9 Partes de un aireador flotante

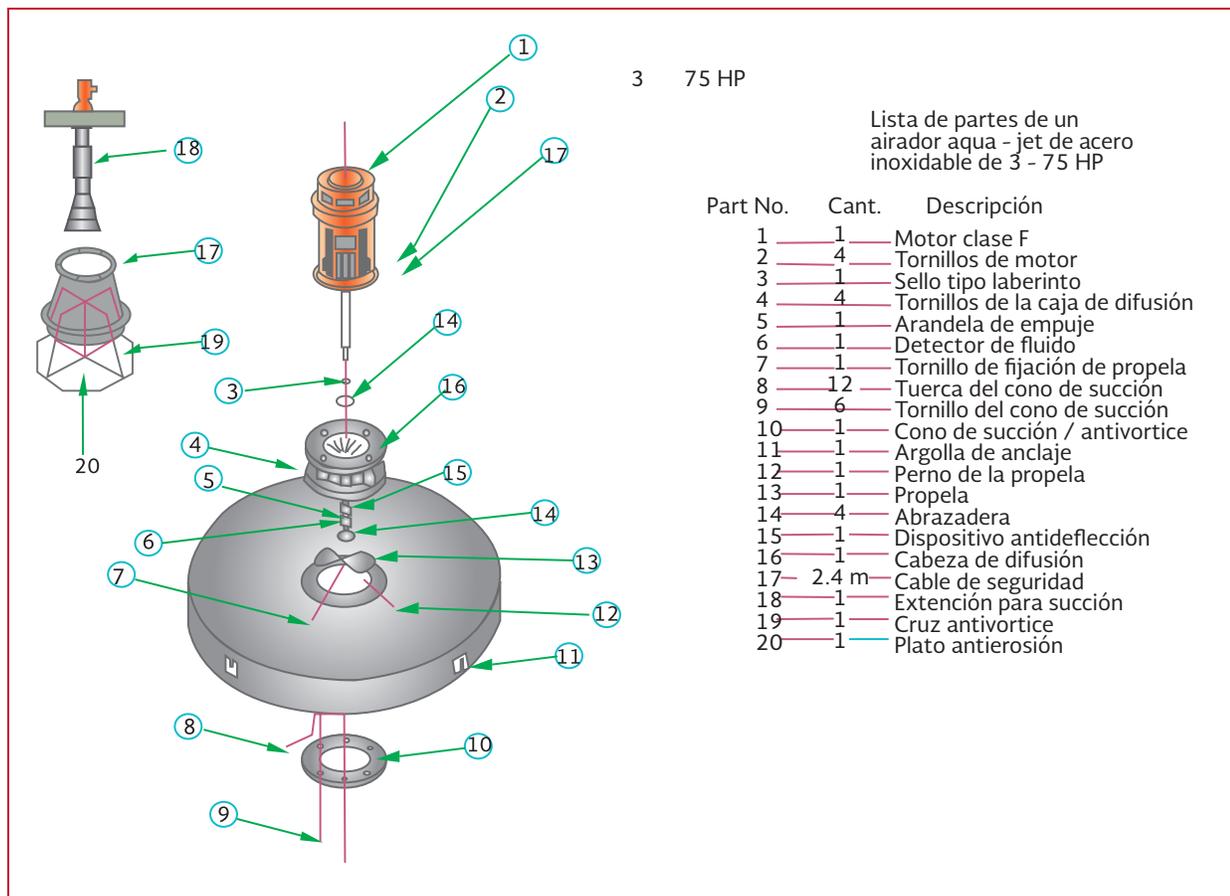


Ilustración 2.10 Colocación de los aireadores en la laguna



Ilustración 2.11 Posición de los bloques de concreto para anclar aireadores

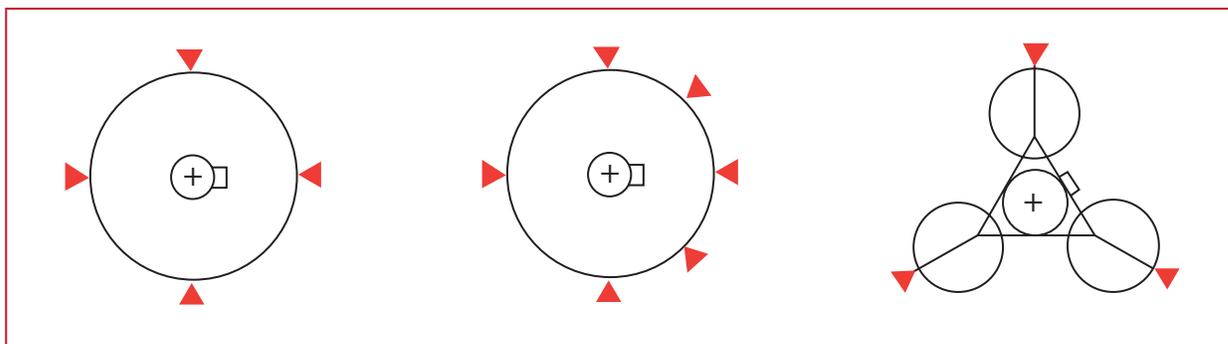


Tabla 2.1 Tamaño de atraques para fijar aireadores en lagunas aireadas

Potencia del aireador	Tamaño del atraque (m ³)
De 1 a 7.5 HP	0.07
De 7.5 a 10 HP	0.14
De 10 a 50 HP	0.20

lagunas recién construidas. La única diferencia es que hay que amarrar el cable en el bloque de concreto (ancla) antes de ponerlo en el fondo. Estos bloques deben espaciarse de la misma manera que en las lagunas recién construidas. Se recomienda poner los flotadores para evitar problemas.

Cables para anclaje

La selección de los cables de anclaje debe realizarse de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Después de ser ajustados, los cables

nuevos se van aflojando con el tiempo, por lo que se recomienda comprobar constantemente que no estén muy flojos. La variación del nivel del agua puede causar que el cable se tensione y se afloje. Los cables tienen que estar bien atados en cada punto de anclaje, de tal manera que no se afloje el cable, de lo contrario se puede causar daño considerable al motor, a la propela y a la flecha. En la Ilustración 2.12 se presentan los accesorios para el anclaje de aireadores, y en la Ilustración 2.13 las diferentes formas de anclaje.

Ilustración 2.12 Accesorios para anclaje



Ilustración 2.13 Diferentes formas de anclaje

	<p>Este es el anclaje más común., requiere un clip en cada uno de los extremos de cada línea de anclaje, la conexión del cable al borde se hace mediante una argolla o un ancla ahogada en concreto.</p>
	<p>Este tipo de anclaje se usa en lagunas muy grandes, cuando las distancias impiden el anclaje en los bordos. Este requiere un clip y un ojal en cada uno de los extremos del cable de anclaje. En el poste se usa una argolla</p>
	<p>Este tipo de anclaje es usado en lagunas grandes, donde es impráctico usar postes. La pendiente del cable debe ser 2:1 o 3:1 utilice en la argolla del aireador un clip y un ojal, 1 flotador. En el bloque de concreto use un flotador, una argolla para ponerla al ancla de acero inoxidable al bloque de concreto.</p>
	<p>Este tipo de anclaje es para lagunas localizadas en lugares muy frios hay una estructura que soporta todo el aireador.</p>
	<p>Este tipo de anclaje se usa cuando hay grandes variaciones de nivel en la laguna, para fijar el aireador se usa un marco triangular con 3 anillos, con los cuales se sujetan a los 3 postes permitiendo al aireador bajar o subir conforme al nivel.</p>

Para evitar jaloneos en la caja de conexión eléctrica del motor, se debe colocar un accesorio que permita cierta libertad de movimiento sin que se estire el cable eléctrico en la caja de conexión o alimentación de corriente eléctrica. Si el cable es pesado, este peso dirige al ai-

reador a un lado determinado; se recomienda usar flotadores en los cables eléctricos con el fin de evitar esto. Hay que evitar que el cable eléctrico sea arrastrado por el cono de succión del aireador, ya que esto puede dañar la pro-pela y el cable.

En la Ilustración 2.14 se presentan los accesorios complementarios para anclar aireadores.

2.3.5 CABLE ELÉCTRICO

El cable eléctrico debe ser de tipo submarino (para ser usado en agua). Generalmente, el fa-

abricante manda el motor con la caja de conexión eléctrica con los cables conectados y sellada. El cable es especial y las cantidades requeridas deben pedirse al fabricante. Algunas condiciones del agua residual (aguas residuales que atacan al plástico) requieren que el cable esté cubierto por una capa de hule resistente al efecto químico.

Ilustración 2.14 Accesorios complementarios para anclar aireadores



Al seleccionar un cable se debe considerar la pérdida de voltaje en la línea, ya que los bajos voltajes en el motor pueden acortar su vida.

Para evitar tirantez o jalones en la caja de conexiones del motor, se debe colocar un aro de cable suficiente que absorba estos movimientos.

2.3.6 CONEXIÓN ELÉCTRICA DEL MOTOR

Todos los aireadores traen la caja de conexión del motor ya sellada y garantizada para operación hasta un año después de arranque.

Para conectar el motor a la línea de abastecimiento de energía eléctrica, deben seguirse las

instrucciones del diagrama que viene en la placa del mismo. La caja de conexión eléctrica tiene una rosca para recibir accesorios con rosca estándar a prueba de agua, de manera que la entrada del cable a la caja de conexión quede sellada. Al conectar los cables de la caja de conexión a la línea de abastecimiento de energía eléctrica, hay que cerciorarse de que queden perfectamente aislados y sellarlos a prueba de agua. Se debe usar cinta de hule y procurar envolver los cables a 1/4 de pulgada de espesor o más, para después envolverlos con cinta plástica engomada. Una vez que los cables quedan envueltos con estos dos tipos de cinta, hay que ponerlos dentro de la caja de conexión y sellarla perfectamente con pegamento de silicón. Por último se pone un sellador alrededor de la tapa de la caja de conexión.

3

ARRANQUE Y ESTABILIZACIÓN DEL PROCESO

3.1. PROCEDIMIENTO PARA ARRANCAR

Antes de empezar a operar una laguna aireada mecánicamente, la vegetación y maleza de los bordos y del interior de la laguna deben ser removidas. La maleza en los bordos debe ser removida hasta 30 cm arriba del nivel que alcanzará el agua en operación normal.

La laguna aireada debe evaluarse primeramente contra fugas, para lo cual se requiere llenarla con agua hasta el nivel que alcanzará en operación normal, y esperar algunos días observando el nivel del agua; los cambios de tirante se deberán a evaporación y filtraciones. Se recomienda que esta operación se lleve a cabo bajo contrato.

Al mismo tiempo que se realiza la prueba de fugas es aconsejable que se prueben los aireadores. Se debe tener cuidado con las líneas que los sujetarán. También se debe verificar que las propelas hayan sido balanceadas perfectamente, de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Si los aireadores son de tipo flotante, comprobar que tengan suficiente cable eléctrico para aguantar los cambios de nivel en la laguna. Se recomienda que el fabricante del equipo esté presente durante el arranque para asegurarse de que si hay fallas en el equipo, éstas no sean causadas por procedimientos inadecuados.

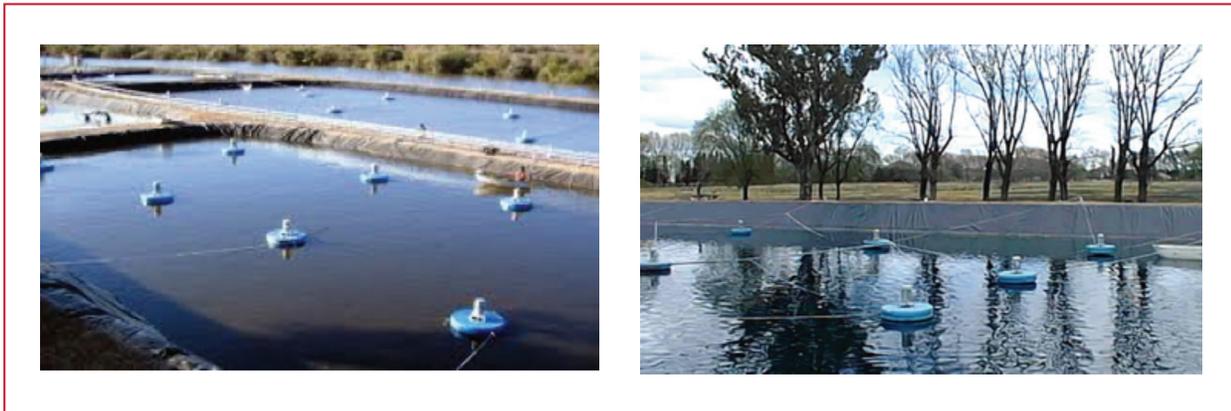
Una vez que se han checado todos los amarres de los aireadores flotantes, y que estén instalados correctamente, se llena la laguna con agua de algún cuerpo receptor (o efluente de planta vecina, o en último caso, con agua limpia), hasta el nivel de operación normal.

Se debe usar una lancha de remos para acercarse a los aireadores con el fin de verificar la rotación correcta del motor; se recomienda oprimir rápidamente el botón de arranque y luego el botón de paro. Si la flecha del motor gira al revés, se debe cambiar la polaridad para modificar el giro. Una vez que todos los aireadores giren correctamente, revisar que el aireador se sumerja de forma correcta, y que todos los flotadores estén al mismo nivel. Esto evitará que los motores se sobrecarguen o que los aireadores se operen inadecuadamente.

Para lograr que los aireadores se sumerjan al mismo nivel se debe consultar el manual del fabricante. Algunos aireadores se ajustan agregando agua o peso en el interior del flotador, otros sólo se deben bajar o subir (por ejemplo, los aireadores con ajuste vertical de sumergencia). En la Ilustración 3.1 se presentan fotografías de la distribución de aireadores dentro de una laguna aireada.

Después de que los flotadores estén instalados correctamente, hay que verificar que la caja de

Ilustración 3.1 Distribución de aireadores en una laguna



interconexión eléctrica del motor esté perfectamente sellada para evitar que entre agua y se produzca un corto circuito que quemaría el motor. Una vez realizadas todas estas actividades, los aireadores estarán listos para probarse. Se arrancan los aireadores y se mantienen operando de 2 a 4 horas; durante este tiempo hay que verificar la turbulencia del agua en toda la laguna con el fin de localizar zonas muertas. Si la laguna tiene poca agitación y es de mezcla completa, probablemente se necesiten tubos de extracción, que permiten un mezclado del agua desde el fondo hasta la superficie. Si por el contrario el agua adquiere un color tierra o lodoso, será que el aireador está afectando el fondo de la laguna y hay que colocar un accesorio para evitar la erosión.

Una vez que los aireadores han sido probados, que no hay problemas de operación, y que la laguna no tiene fugas, la planta está lista para ponerse en operación.

3.1.1 PRIMER DÍA

Dejar que el agua residual ingrese a la planta, que pase por las rejillas de barras y el desarenaador. Cuando el agua residual entre a la laguna, poner en operación los aireadores mecánicos

superficiales, los cuales estarán introduciendo oxígeno disuelto al agua residual.

A medida que el agua entra a la laguna aireada, se desplazará por el efluente de la misma hacia la laguna siguiente (que puede ser una o varias lagunas de maduración sin aireación mecánica), y finalmente el efluente se descargará al cuerpo receptor (río, lago, laguna, etcétera).

Se recomienda usar todas las lagunas aireadas disponibles en la planta de tratamiento con la finalidad de obtener el mayor tiempo de retención posible. El objetivo de una laguna aireada es crear una población heterogénea de microorganismos a partir de la mínima cantidad que viene en el agua residual, por lo que se requiere la mayor cantidad disponible de aireación que permita que los microorganismos crezcan y se multipliquen hasta obtener las características deseables de población bacteriana.

Cuando las lagunas están en su nivel de operación y el agua residual se airea, se inicia el proceso de tratamiento. Dado que los microorganismos aerobios tienen alimento y oxígeno, su población empezará a crecer. Se debe proporcionar suficiente cantidad de nutrientes si el agua residual carece de ellos.

La mejor época del año para poner en operación una planta de tratamiento de tipo biológico es durante la primavera o verano, cuando las temperaturas son las más apropiadas para el desarrollo de los microorganismos.

Se recomienda no descargar al cuerpo receptor hasta que:

- a) Todas las lagunas estén a su nivel de operación normal
- b) Se tenga el permiso del gobierno federal
- c) Se hayan realizado los análisis físico-químicos y biológicos para garantizar el cumplimiento de la normatividad

En el caso de las lagunas, la norma NOM-001-SE-MARNAT-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

La mayoría de las lagunas aireadas diseñadas para mezcla completa poseen recirculación, que ayuda al mezclado y sembrado de microorganismos en ellas. En algunas ocasiones se considera que la aireación es necesaria para mantener condiciones anóxicas en la laguna. Sin embargo, cuando se tenga una laguna facultativa mecánicamente aireada, se recomienda recircular su efluente a una tasa entre el 30 y 50 por ciento del influente para acelerar el crecimiento bacteriano.

Después de 16 horas de operación, es necesario medir el oxígeno disuelto en el efluente de la laguna aireada para verificar si hay suficiente. Si el oxígeno disuelto es menor de 1 mg/L, se debe incrementar el número de aireadores. Se recomienda que los niveles de OD sean altos en toda la laguna durante este tiempo de operación,

debido a la pequeña cantidad de microorganismos (OD mayor de 3 mg/L). A medida que el cultivo de microorganismos se va incrementando, la laguna aireada adquiere la concentración de oxígeno de operación normal.

Diariamente las variaciones de flujo producirán diferentes demandas de oxígeno, hasta que se estabilice el sistema. El operador se dará cuenta de esto por los análisis de oxígeno disuelto. Es común tener concentraciones altas de OD en la madrugada, cuando la carga del influente es baja (para lagunas con aguas municipales). El OD en la laguna disminuye al mediodía y en la tarde, debido a que la carga orgánica tiende a aumentar durante el transcurso del día.

Es posible que durante los primeros días de operación se forme una cierta cantidad de espuma, debido al contenido de detergente en el agua residual (lagunas que reciben aguas residuales municipales) y a la escasez de población bacteriana.

Si es necesario, aplicar antiespumantes comerciales para controlarlo (dosis de 10-20 mg/L son suficientes). El operador no se debe sorprender, ya que la espuma de detergente alcanza alturas hasta de 3 metros, e irá disminuyendo a medida que el cultivo de microorganismos se vaya incrementando.

3.1.2 DEL SEGUNDO AL QUINTO DÍA

Durante este periodo, el control de operación del sistema consiste en el manejo de la concentración de oxígeno disuelto y una tasa apropiada de recirculación (si es posible). Una manera de acelerar la estabilización de la laguna de aireación

es introducir licor mezclado de un sistema de lodos activados, lo que disminuirá el tiempo de formación de la población de microorganismos requerido para la estabilización de la laguna.

A continuación se deberá iniciar con un programa de monitoreo con el fin de registrar y ver los datos requeridos para el control futuro de la planta. La Tabla 3.1 muestra los parámetros que se recomienda medir diariamente.

Además, de acuerdo con la Tabla 3.2, se deberán observar diariamente las características organolépticas del agua del sistema.

3.1.2.1 La estabilización de la concentración del OD

Para mantener la concentración de OD en la laguna se necesitará de cierto tiempo debido a que el reactor aún no se estabiliza, es decir, todavía no tiene la suficiente cantidad de microorganismos para tratar el agua residual. Lograr que los microorganismos crezcan requiere tiempo, hasta el punto en el que haya la cantidad necesaria en el tratamiento del agua residual que entra a la laguna

na aireada. En aguas municipales por lo general se requiere de 3 veces el tiempo de retención hidráulico en la laguna de aireación para que se noten resultados, ya que en la prueba de sedimentación los sólidos sedimentables no caen rápidamente, pero el líquido en la parte superior del cilindro es más claro.

3.1.3 DEL SEXTO DÍA EN ADELANTE

En el sexto día de operación ya debe haberse producido alguna mejora en el efluente. Durante los últimos días de la segunda semana de operación se debe verificar la formación de sólidos en la laguna aireada con una prueba de sedimentabilidad de 60 minutos. Los resultados de esta prueba indican las características de floculación, sedimentación y compactación del lodo.

Esta prueba debe hacerse diariamente. Los microorganismos de la laguna aireada son muy variados, y tan pequeños que es muy difícil contarlos con exactitud. La Ecuación 3.1 permite calcular la cantidad de microorganismos en el tanque de aireación se determina la cantidad de kg de sólidos suspendidos totales presentes en la laguna.

Tabla 3.1 Parámetros a observar en la puesta en marcha de una laguna aireada

Parámetro	Agua cruda	Efluente desarenador	Interior de la laguna aireada	Efluente laguna aireada	Efluente
Q (L/s)	X		X		X
ST y SSV (mg/L)	X	X	X	X	X
DBO y DQO (mg/L)	X	X		X	X
OD (mg/L)		X	X	X	X
SSed (mL/L)	X		X		X
Temp (° C)	X		X		X
pH (unidades)	X		X		X
Turbiedad (NTU)	X				X
Demanda de cloro (mg/L)					X
Número más probable de bacterias (NMP/100 mL)	X				X

Tabla 3.2 Puesta en marcha. Características a observar

Parámetro	Agua cruda	Efluente desarenador	Interior de la laguna aireada	Interior de la laguna de maduración	Efluente
Olor	X	X			X
Color	X	X	X	X	X
Natas			X	X	
Espuma			X	X	X

Recuerde: El olor, la observación, y el tacto con frecuencia son las primeras indicaciones de que todo está operando bien o que algún problema está pasando o va a pasar, y frecuentemente es un indicador para realizar una acción correctiva adecuada.

$$kg \text{ de SST} = \frac{(SST) V}{1000} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

dónde:

SST = Sólidos suspendidos totales
en mg/L

V = Volumen de la laguna en m³

La prueba de sólidos suspendidos es una muestra instantánea que debe ser tomada diariamente a la misma hora y mismo lugar, con el objeto de hacer comparaciones diarias de resultados. Se recomienda tomar la muestra a 1.5 o 2 m antes de la descarga del efluente de la laguna aireada, y de 0.4 a 0.6 m de profundidad de la superficie del agua. Si la laguna aireada tiene recirculación hay que tomar una muestra para que el laboratorio determine la cantidad de SST diariamente.

La observación cuidadosa de la formación de sólidos y prueba de sedimentabilidad de 60 minutos indicará la velocidad de crecimiento, la condición de los sólidos en la laguna, y qué tanto lodo debe ser recirculado (si es que la planta de tratamiento cuenta con sistema de recirculación) a la laguna de aireación.

En el caso de que haya sistema de recirculación, se debe recircular todo lo posible durante 30 días o más si el licor en la laguna está muy por debajo de la concentración de sólidos suspendidos totales normales de operación. La concentración de MLSS normalmente varía de 150 a 300 mg/L en lagunas aireadas, pero puede aumentar si el efluente se recircula.



4

SEGUIMIENTO DEL PROCESO

El control del proceso de lagunas aireadas es muy simple y consiste en el control del tiempo de retención hidráulica y el oxígeno disuelto.

4.1. TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

En las lagunas aireadas el tiempo de retención varía, de 7-20 días para facultativas mecánicamente aireadas, y de 3-10 días para lagunas aireadas con mezcla completa. Sin embargo, el tiempo de retención puede aumentarse o disminuirse con un vertedor móvil en el efluente de la laguna aireada (vertedor de agujas) que permita subir el nivel del agua.

Hay sistemas de tratamiento que se diseñan para poder aumentar el nivel de la laguna un 25 por ciento más del nivel de operación normal, lo que permite incrementar el tiempo de retención. Debe tenerse cuidado cuando se aumente el nivel, ya que se requiere mayor cantidad de oxígeno, y si no se tiene suficiente capacidad de aireación, la laguna se convertirá en séptica con el consecuente problema de olores.

4.2. OXÍGENO DISUELTO

Se sugiere que el operador monitoree cada 2 horas el OD en la laguna de aireación, para hacer

los ajustes necesarios, los cuales pueden incluir el control del nivel del agua de la laguna para dar mayor tiempo de retención. También, si falta oxígeno disuelto, se requiere agregar más aireadores, para lo cual se recomienda consultar al fabricante de equipo. Aunque el control de operación en lagunas aireadas sin recirculación es simple, se requiere tener información para el control del proceso. Entonces, es fundamental conocer la cantidad, concentración y tipo de residuos que entran al sistema de tratamiento, que pasan por la laguna aireada, y qué calidad de agua está saliendo de la planta. Por consiguiente, hay tres puntos principales de los cuales se requiere información. Estos puntos son: el influente, la laguna aireada y el efluente. Para los puntos mencionados se tomarán muestras de agua residual y se determinarán: temperatura, pH, OD, DBO, DQO, SST, coliformes fecales y cloro residual. Los resultados de estas pruebas se usan para determinar qué tan bien opera la planta de tratamiento. Además, sirven para predecir cambios operacionales y evaluar los resultados de tratamiento.

4.3. INFORMACIÓN DE LABORATORIO

Una pequeña parte del tiempo de operación de la planta de tratamiento, se empleará en la toma

de muestras para realizar análisis al agua residual que proporcione la información que ayudará en el control del proceso. Estas muestras pueden ser simples o compuestas, la primera es una muestra individual que consiste de una porción tomada a cualquier hora. La segunda consiste en porciones tomadas a intervalos de tiempo conocidos y luego combinados en volúmenes que son proporcionales al flujo. Esta muestra compuesta se considera representante de las características del agua residual de todo el periodo de muestreo. Dependiendo de los parámetros analíticos, las muestras deben preservarse de 3 o 4 °C para prevenir la alteración de resultados por microorganismos. La localización exacta de los puntos de muestreo en una planta de tratamiento no se puede especificar, debido a las condiciones tan variables y al diseño. Sin embargo, es posible presentar ciertas guías generales.

4.3.3.1 Muestras simples

Las muestras simples son representativas de las características instantáneas del agua residual. Cuando únicamente se puedan recolectar muestras instantáneas, estas deben tomarse cuando la planta de tratamiento esté operando en condiciones de flujo máximo. La toma de muestras debe ser escalonada para tener en cuenta el tiempo de retención de cada unidad del proceso. Por ejemplo: si el tiempo de retención de una unidad de tratamiento es de 2 horas, entonces la muestra simple del efluente debe tomarse 2 horas después de haber obtenido la muestra del influente, de esta manera las muestras pueden ser consideradas representativas del agua residual antes y después del tratamiento.

4.3.3.2 Muestras compuestas

Las muestras compuestas representan las características del agua residual en un periodo de

tiempo específico. El procedimiento ideal es un muestreo de 24 horas, con intervalos de tiempo de una hora para toma de muestras individuales y proporcionales al flujo al tiempo de muestreo. Lo anterior, es posible cuando se tienen muestreadores automáticos. Sin embargo, se pueden tener resultados adecuados con periodos más cortos.

4.4. PROBLEMAS OPERACIONALES Y ACCIONES CORRECTIVAS

Debido a que la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que funcionan mediante lagunas aireadas mecánicamente, poseen lagunas de maduración sin aireación mecánica, se le incluyen los problemas operacionales para lagunas en general, más los problemas más importantes de aireadores mecánicos superficiales.

En el caso de lagunas aireadas, el orden en el que se presentan los problemas operacionales más frecuentes es el siguiente:

- Control de la maleza acuática
- Control de animales que producen madrigueras
- Control de la vegetación del dique
- Corrección de fluctuaciones de OD
- Inconvenientes electromecánicos con aireadores y cómo corregirlos

A continuación se desglosan los conceptos anteriores:

Control de la maleza acuática

El crecimiento de la maleza acuática se presenta como consecuencia de un incremento en la concentración de nutrientes del agua residual cruda.

En lagunas parcialmente aireadas, se disminuye la aireación y se acumula espuma, produciendo condiciones apropiadas para la proliferación de mosquitos, desarrollándose malos olores. La maleza también evita la penetración de la luz, y por tanto, afecta la fotosíntesis y la presencia de algas. En la Tabla 4.1 se muestra una guía para el control de la maleza acuática.

Control de animales que producen madrigueras

La maleza acuática representa alimento para animales que hacen madrigueras en los bordos, siendo las culebras de agua, ratas de campo y los conejos silvestres los animales más frecuentes a

anidar. La presencia de estos animales provoca la llegada de otros, de los cuales son sustento, por lo que debe evitarse la fauna en las lagunas. En la Tabla 4.2 se muestra una guía para el control de animales que producen madrigueras.

Control de la vegetación del dique

Maleza en abundancia, arbustos y árboles, proporcionan ambientes adecuados para albergar animales, debilitan los bordos y reducen la acción del viento en las lagunas.

En la Tabla 4.3 se muestra una guía para el control de la vegetación del dique.

Tabla 4.1 Control de la maleza acuática

Indicadores/observaciones	Causa probable	Solución
<p>Observar la presencia de problemas de corto circuito por la presencia de plantas</p> <p>Observar la presencia de espuma y la presencia de mosquitos</p> <p>En los bordos las raíces producen fugas y debilitan los mismos</p>	Pobre circulación en la laguna, falta de mantenimiento, insuficiente profundidad del agua	<p>Saque la maleza de la laguna utilizando lancha y rastrillo</p> <p>Elimine la maleza de los bordos</p> <p>Baje el nivel del agua de la laguna para extraer la mayor cantidad de maleza</p> <p>Construya un zampeado en los bordos</p> <p>Antes de esto agregue un herbicida para eliminar la maleza</p>

Tabla 4.2 Control de animales que producen madrigueras

Indicadores/observaciones	Causa probable	Solución
Observar la presencia de nidos y madrigueras de animales en los bordos	Los bordos sin zampeado atraen a animales, sobre todo si existe una población considerable de estos en el área circunvecina de la planta de tratamiento	<p>Remueva cualquier indicio de comida en los alrededores de la planta de tratamiento</p> <p>Las ratas de campo prefieren una madriguera parcialmente mojada. Si el operador sube y baja el nivel del agua las ratas abandonan la madriguera</p> <p>Use trampas con carnada envenenada</p> <p>Ponga cerca alrededor de la planta</p>

Tabla 4.3 Control de la vegetación del dique

Indicadores/observaciones	Causa probable	Solución
Observar la presencia de árboles y arbustos en los bordos	Mantenimiento muy pobre	<p>Remueva árboles, arbustos y toda la vegetación (maleza) de los bordos</p> <p>Plante zacate o pasto de raíces</p> <p>Use herbicidas químicos permitidos para el control de malezas</p>

Corrección de fluctuaciones de OD

Las fluctuaciones de oxígeno disuelto, se deben fundamentalmente a descargas puntuales de materia orgánica y desechos industriales, así como el paro de aireadores. En el caso de lagunas parcialmente aireadas en zonas muy frías, la presencia de hielo impide el intercambio de oxígeno con el ambiente y produce un flóculo muy pequeño y espuma que sale por el efluente. En la Tabla 4.4 se muestra una guía para la corrección de fluctuaciones de OD y otros problemas en lagunas aireadas.

Otros problemas en lagunas aireadas

Frecuentemente, debido a malas conexiones, cables descubiertos que producen falsos contactos, desgaste de piezas del aireador y presencia de basura, se producen fallas en el sistema de aireación. En la Tabla 4.5 se muestra una guía para solucionar problemas con aireadores mecánicos superficiales y cómo corregirlos.

4.4.1 FORMACIÓN DE LODOS

Cuando el pretratamiento no funciona adecuadamente, se presenta una acumulación de materia en las lagunas, la cual con el tiempo es necesario retirar, ya que disminuyen el tiempo de residencia, y en consecuencia reduce la eficiencia del proceso. Desafortunadamente se da poca importancia al pretratamiento y, por tanto, el azolvamiento de las lagunas llega a visualizarse como una condición de operación normal. Esto es incorrecto. Cuando se diseña y opera adecuadamente el pretratamiento, el mayor porcentaje de los lodos que se acumulan se digieren mediante un proceso conocido como respiración endógena, y en este caso, la acumulación de material es mínima. En la Ilustración 4.1 se muestra un ejemplo de las características de los sólidos.

Sin embargo, es posible la determinación del grado de azolvamiento de una laguna, la cual requiere de poco personal, aproximadamente a un rendimien-

Tabla 4.4 Corrección de fluctuaciones de OD y otros problemas en lagunas aireadas

Indicadores/observaciones	Causa probable	Solución
Observe que todos los aireadores trabajan adecuadamente, presencia de flóculo y espumas en el efluente	Cargas orgánicas repentinas, sobre aireación, desechos industriales en el agua residual, hielo flotante (únicamente para lugares muy fríos)	Controle la aireación mediante un reloj de control para el arranque de aireadores, monitoree el oxígeno disuelto para calibrar el paro y arranque de aireadores, mantenga más de 1 mg/L de OD Varíe la operación del sistema de aireación y ajuste para que el contenido de OD sea menor a 3 mg/L Localice los desechos industriales que producen espuma, tales como: rastros de pollos, industria de lácteos o procesamiento de vegetales Durante el invierno opere las unidades continuamente para prevenir congelamientos

Tabla 4.5 Problemas con aireadores mecánicos superficiales y como corregirlos

Indicadores/observaciones	Causa probable	Solución
El aireador falla al arrancar	<p>Alambrado incorrecto o falso contacto en la caja de conexión del motor</p> <p>Alambrado incorrecto o falso contacto en el panel de control</p> <p>Fusibles o elementos térmicos impropios</p>	<p>Coteje el diagrama de alambrado de la placa nominal del motor con las conexiones en la caja de conexión y en los contactos</p> <p>Verifique el alambrado en el panel de control</p> <p>Verifique que los fusibles y elementos térmicos cumplan las especificaciones</p>
El motor arranca pero el aireador tiene una descarga muy pobre	<p>Alambrado incorrecto, ya sea en el panel de control o más probablemente en el motor</p> <p>Dirección de rotación inversa</p> <p>Algo afecta al impulsor, como basura</p>	<p>Verifique el alambrado en el panel de control y en el motor.</p> <p>Invierta dos de las tres fases (no cambie la conexión a tierra)</p> <p>Ponga en reverso el motor por 3 a 5 segundos, párelo, póngalo otra vez en reversa por 3 a 5 segundos, cambie a la dirección de rotación correcta y arranque otra vez. Si no hay resultados, verifique físicamente la unidad, remueva cualquier obstrucción</p> <p>Mantenga la laguna libre de basura</p>
Paro del motor por calentamiento térmico	<p>Alambrado incorrecto</p> <p>Elementos térmicos equivocados en el arrancador</p> <p>Basura obstruyendo el impulsor</p> <p>Sobrecalentamiento en el panel de control</p> <p>Mala operación o defecto del balero</p> <p>El cono de succión se cayó al agua</p>	<p>Verifique el alambrado, vea si hay correcciones flojas o cortas</p> <p>Verifique el tamaño adecuado de los elementos térmicos</p> <p>Proceda como en la sección anterior</p> <p>Agregue compensadores de calor en el panel de control. Proteja el panel de los rayos solares en áreas no ventiladas</p> <p>Revise los baleros del motor</p> <p>Verifique que el cono de succión está en su lugar</p>
Descarga no uniforme del líquido	<p>Basura en la propela o en el soporte del motor</p>	<p>Opere el motor en reversa con leves piquetitos al arrancador, si no obtiene resultados inspeccione la unidad</p>
Unidad flotando con inclinación	<p>Tensión no uniforme en los cables de anclaje</p> <p>Tensión en el cable eléctrico del aireador</p>	<p>Ajuste la tensión del cable uniformemente</p> <p>Reduzca la tensión proporcionando más cable</p>
El aireador se mueve alrededor de su punto de localización	<p>Basura en la propela</p> <p>Cable de anclaje muy tensionado</p>	<p>Opere en reversa como en los procedimientos anteriores</p> <p>Arregle la tensión de los cables</p>

Ilustración 4.1 a) Ejemplo de laguna a dragar y b) Tipo de lodo a retirar



to de 0.215/(hombre día), mientras que la labor de limpieza puede realizarse a razón de 1.5/mes. Se recomienda hacer limpieza en las lagunas cuando estas tengan un azolvamiento mayor del 30 por ciento, o menos cuando se considere que el efluente presente gran cantidad de SST. Lo recomendable es medir cada año el grado de azolvamiento.

4.4.2 AZOLVAMIENTO

Para medir el grado de azolvamiento de la laguna se procede a cuadricular la laguna a cada 20, 30 o 40 m (a juicio del operador, y dependiendo del área superficial de la laguna). Tal como se muestra en la Ilustración 4.2 para determinar los puntos de muestreo. Se mide en cada punto la profundidad del agua y del lodo, para lo cual se utiliza una varilla recta a la que se ha adherido firmemente un trapo blanco. La lectura de profundidad de lodo se obtiene introduciendo la varilla con el trapo hasta topar con el fondo compactado de la laguna, haciendo la lectura de la altura manchada en el trapo (Ilustración 4.3). Mediante la Ecuación 4.1 se obtiene el porcentaje de azolvamiento de la laguna. En la Ilustración 4.4 se presenta los trabajos de desazolve de una laguna de estabilización, y se puede observar la capa de sólidos que se forma en su interior.

$$Az = \frac{100 L}{T} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

dónde:

- Az = Porcentaje de azolvamiento, en %
- L = Promedio de la profundidad de lodos en la laguna = suma de las lecturas puntuales L_i /número de lecturas, en m
- T = Tirante promedio de la laguna = suma de las lecturas puntuales T_i /número de lecturas, en m

Y el volumen de lodo sedimentado a retirar se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Vz = A L \quad \text{Ecuación 4.2}$$

dónde:

- Vz = Volumen de lodos a retirar, en m^3
- A = Área de la laguna, en m^2
- L = Promedio de la profundidad de lodos, en m

En la Tabla 4.6 Se presenta un ejemplo de formato para llevar el registro de campo.

Ilustración 4.2 Puntos de muestreo de una laguna aireada

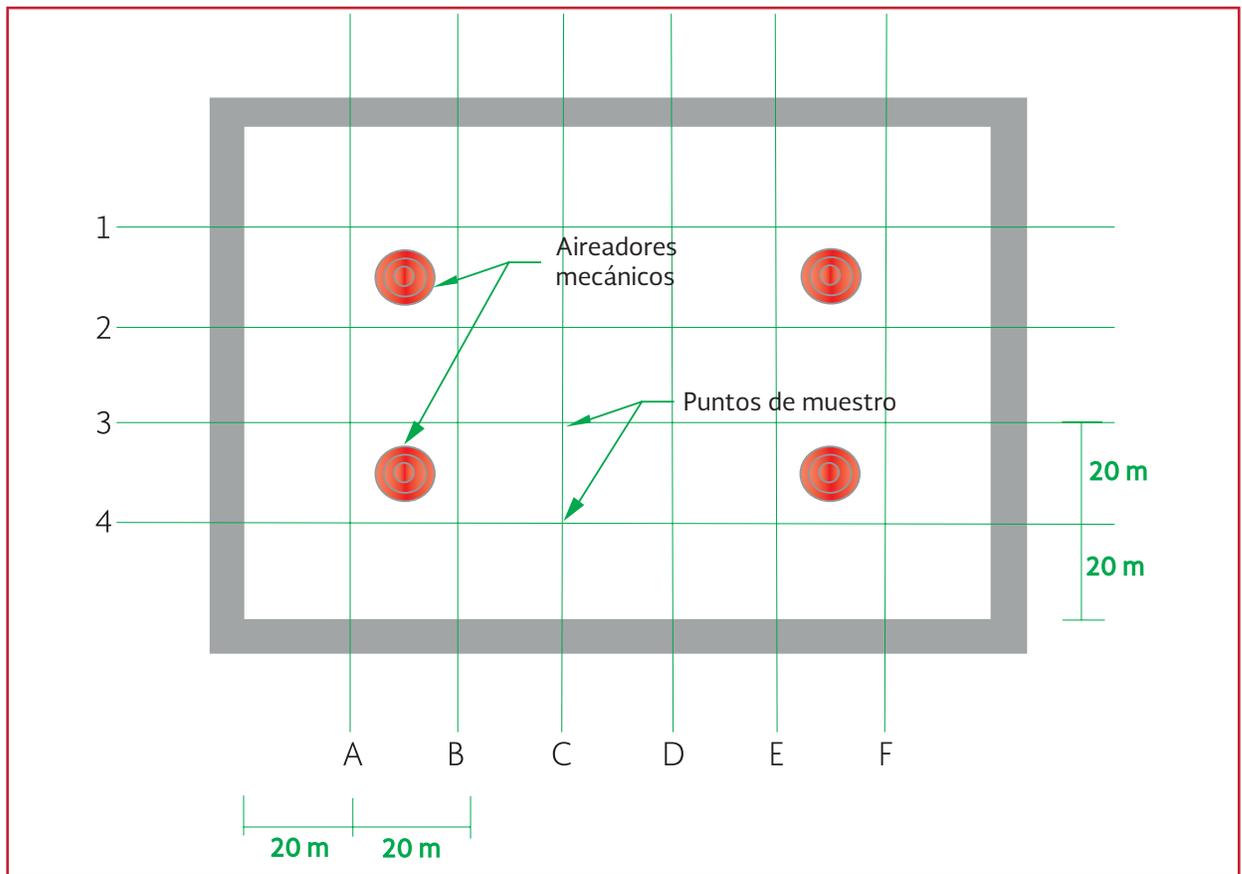


Ilustración 4.3 Azolvamiento de una laguna aireada

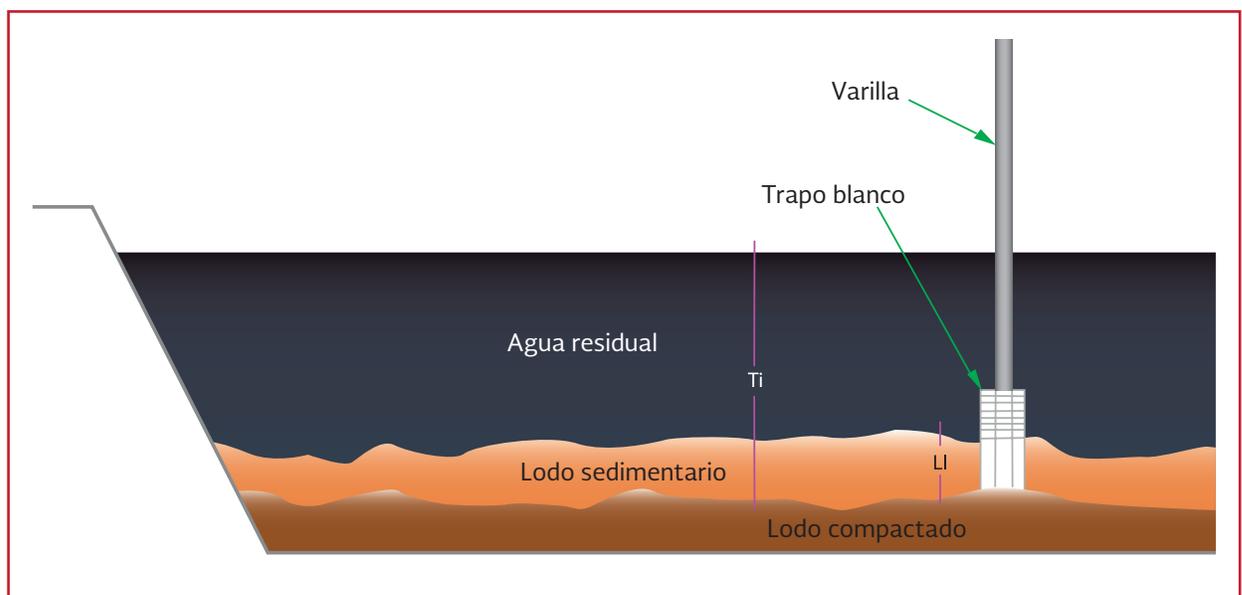


Tabla 4.6 Formato para determinar el azolvamiento de una laguna

Eje	Localización: A = Área de la Laguna : m ²		Fecha:				Valores medios de los ejes (m)
	A	B	Punto de medición				
			C	D	E	F	
1							
2							
3		Valor de Ti					
		Valor de Li					

4

T = Tirante promedio de la laguna (suma de las lecturas puntuales Ti/número de lecturas), m
 L = Promedio de la profundidad de lodos en la laguna (suma de las lecturas puntuales Li/número de lecturas), m
 Vz = Volumen de lodos a retirar (m³)= A(L)
 Az = Porcentaje de azolvamiento (%) =100 (L/T)

Ilustración 4.4 Desazolve de una laguna



5

MANTENIMIENTO

El mantenimiento se clasifica en correctivo y preventivo. El correctivo, como su nombre lo indica, es aquel que se lleva a cabo como consecuencia de una falla de los equipos o instalaciones, la cual es indeseable. El mantenimiento preventivo, es aquel que se lleva a cabo para la conservación de los equipos o instalaciones, y garantiza un mejor funcionamiento.

Una manera de hacer un programa de mantenimiento preventivo es mediante el uso de un pizarrón, en la Tabla 5.1 se muestra cómo hacerlo.

El lado derecho del pizarrón es un calendario anual y viene presentado en meses, semanas y días, con el fin de programar mantenimiento diario, semanal, mensual, trimestral, semestral, anual o como marque el equipo. La manera de saber cuándo hay que efectuar el mantenimiento, es marcando las fechas con alfileres con cabezas de color o algo similar (pueden ser imanes pintados, fichas, etcétera). Cada color debe representar cierto periodo de mantenimiento. Por ejemplo: el color azul, puede ser mantenimiento mensual o trimestral, el rojo semanal, el negro anual y así sucesivamente. Se marca todo el pizarrón con estos colores y se va llevando una libreta de registro por equipos para saber cuándo se hizo el último mantenimiento o reparación.

Cuando en el pizarrón de mantenimiento hay un color para una fecha dada, esto indicará que es necesario el mantenimiento a un equipo determinado, entonces se observa la libreta de registro y el manual de instrucciones de servicio.

El jefe de mantenimiento o personal disponible dará instrucciones a su personal para realizar el mantenimiento, de acuerdo a las instrucciones de servicio del manual del fabricante.

5.1. REGISTROS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Una falla que ocurre con frecuencia en los programas de mantenimiento, es olvidar registrar el trabajo o reparación después que se terminó con esta actividad. Cuando esto pasa, el mecánico o el jefe de mantenimiento tiene que confiar en su memoria para saber cuándo realizar otra actividad de mantenimiento preventivo a su equipo. Conforme pasan los días, semanas y meses el programa de mantenimiento preventivo se pierde en el tumulto de actividades de reparaciones diarias, y se pierde el control. La mejor manera de llevar un registro de mantenimiento preventivo es que cada equipo tenga una libreta de control que sirva de bitácora para su mantenimiento.

Tabla 5.1 Programa anual de mantenimiento preventivo

Concepto 1	Enero			Febrero				Marzo				Abril				Noviembre				Diciembre			
	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pretratamiento																							
Rejillas finas																							
Desarenador																							
Sistema de bombeo																							
Bomba 1																							
Bomba 2																							
Bomba 3																							
Laguna aireada																							
Aireador 1 Laguna A																							
Aireador 2 Laguna A																							
Aireador 1 Laguna A																							
Aireador 2 Laguna A																							
Obra Civil																							
Pintura interiores																							
Edificios																							
Tubería de agua cruda																							
Etcétera																							
Código de colores																							
Naranja																							
Verde																							

Todos los equipos requieren de un mantenimiento rutinario en general, y esporádicamente, en cada una de sus partes.

Al respecto, una forma de llevar la libreta de mantenimiento, es colocar un listado desglosado de las actividades, señalando la referencia del manual del fabricante con la página donde se detalla la forma de realizar el trabajo, la frecuencia de realización y tiempos de realización (ver Tabla 5.2).

Posteriormente, en la misma libreta se registra la fecha, el trabajo realizado y firma de la persona responsable, y se especifica la fecha del

próximo mantenimiento para diferentes actividades. En la Tabla 5.3 se presenta un ejemplo de registro de mantenimiento.

5.2. MANTENIMIENTO DE EQUIPOS

En la actualidad existen paquetes de mantenimientos en donde toda la información del equipo es introducido a computadoras, estas diariamente nos indican a cuál equipo se le dará mantenimiento y a cuál ya se le dio. La computadora nos dice qué equipo, y qué es lo que se requiere hacer de mantenimiento, tipo de aceite, cambio de piezas, etcétera.

Tabla 5.2 Servicio al equipo

Equipo: bomba de aguas residuales No. 1				
Actividad	Trabajo a efectuar	Referencia	Frecuencia	Tiempo
1	Revisar sello de agua y prensa estopa	Vol. 1 - Pág. 23	Semanal	Lunes
2	Operar bombas alternadas	Manual de operación de la PTAR	Semanal	Lunes
3	Inspeccionar ensamblado de la bomba	Vol. 1- Pág. 15	Semanal	Miércoles
4	Inspeccionar lubricación y baleros	Vol. 1 - Pág 20	c/3 meses	Ene, Abr, Jul, Oct
5	Verificar la temperatura de operación de los baleros	Vol. 1 - Pág 23	c/3 meses	Ene, Abr, Jul, Oct
6	Verificar alineación de la flecha, bomba y motor	Vol. 1 - Pág 28	c/3 meses	Abr, Oct
7	Desmontar y dar servicio mayor a bombas	Vol. 1 - Pág 35	c/6 meses	Abr, Oct
Observaciones:				

Tabla 5.3 Registro del servicio

Mantenimiento al equipo				
Equipo: Bomba de aguas residuales n.º 1				
Fecha	Trabajo realizado o actividad n.º	Nombre del prestador del servicio	Firma del prestador del servicio	Próximo servicio
1/ may / 2014	1 y 2	Pedro Núñez		8/mayo/ 2015
3/ may / 2014	3	Juan Sánchez		10/mayo/ 2015
8/ may/ 2014	4	Julio Ruíz		8/ sept/ 2015
...
...
8/ sept/ 2014	4	Julio Ruíz		8/ dic/ 2015

5.2.1 MANTENIMIENTO DE AIREADORES SUPERFICIALES

El mantenimiento que se requiere para los aireadores mecánicos superficiales es mínimo. La simplicidad del diseño de la unidad, elimina la necesidad de programas extensivos de mantenimiento. Sin embargo, se sugiere el mantenimiento preventivo presentado en los siguientes subtemas.

Los diferentes tipos y tamaños de los motores que se usan para los aireadores mecánicos superficiales no se lubrican de la misma manera, debido a que los moldes y técnicas de produc-

ción usadas por los diferentes fabricantes de motores no son las mismas.

5.2.1.1 Frecuencia de lubricación

En general, los motores de 1 H.P. hasta 25 H.P. deben lubricarse cada 6 meses, y los más grandes cada 4 meses.

5.2.2 MANTENIMIENTO DE BOMBAS

El mantenimiento del equipo de bombeo se basa en el monitoreo, registro y análisis del comportamiento de las principales variables de operación, como es la medición del gasto y presión

de descarga y de las instalaciones, con la finalidad de verificar que su funcionamiento sea el correcto. En caso de que se presente una desviación de las condiciones de operación normales, se deben programar las actividades correctivas correspondientes al equipo o componente.

Para realizar un buen mantenimiento:

- a) Se recomienda medir la presión de descarga y el gasto mensualmente. Si el gasto y la carga de bombeo varían un 10 por ciento respecto de los del diseño en la bomba, hay que tomar medidas correctivas
- b) Comprobar como mínimo una vez al año, o después de 1 000 horas de trabajo el nivel de aceite, procediendo al cambio del mismo si esto fuera necesario
- c) La mayoría de los fabricantes aconsejan que la cámara de aceite no debe estar nunca llena, dejando una holgura de un 15 por ciento para facilitar la expansión del mismo para evitar sobrepresiones
- d) Deberán de seguirse las instrucciones del manual del fabricante para aumentar la vida útil de la bomba

5.2.2.1 Mantenimiento preventivo eléctrico

Otro mantenimiento preventivo que se aconseja, es una inspección periódica a las líneas donde se encuentran sujetos los aireadores superficiales, y leer el amperaje en el centro de control de motores para verificar que los motores no están sobrecargados. Si los motores en el centro de

control no tienen indicador de amperaje, use un amperímetro de gancho y obtenga las lecturas de las líneas de cada uno, así como el voltaje.

Cuando realice alguna reparación, donde se requiera remover la propela, tenga mucho cuidado cuando vaya a colocar el aireador en servicio nuevamente. La flecha del motor debe estar perfectamente alineada y la propela debe balancearse dinámicamente. Realice un análisis de vibraciones en el motor, use un analizador portátil, colocando los dispositivos de captación de vibración perpendiculares a la flecha del motor y colocados en línea recta en la parte donde se encuentran los baleros superior e inferior (un dispositivo de captación de vibraciones para cada punto). Si el desplazamiento es de 2 milésimas en cualquiera de los baleros del motor, indica desbalanceo, el cual tiene que corregirse. Para el balanceo dinámico de la propela se requiere ver las instrucciones del manual de instalación de los fabricantes. Un desbalance en la propela, producirá desgaste en los bujes o dispositivos para desviación del agua que sube por la flecha por acción del movimiento de la propela en el agua, lo cual permitirá que pase el agua al balero inferior y después del motor, esto producirá que el balero inferior se destruya y el agua en el motor propiciará un cortocircuito. En la actualidad, toda la información del equipo es introducido a computadoras, y estas diariamente indican a cuál equipo se debe dar mantenimiento y a cuál ya se le dio. La computadora brinda información, por equipo, sobre las actividades de mantenimiento que se requiere, por ejemplo. Tipo de aceite, cambio de piezas, etcétera.

5.3. MANTENIMIENTO DE BORDOS, TALUDES CAMINOS Y ÁREAS VERDES

5.3.1 MANTENIMIENTO DE BORDOS Y TALUDES

Por efectos de consolidación, los bordos de las lagunas pueden sufrir desniveles, por lo que es conveniente realizar, al menos una vez al año, nivelaciones para detectar sus hundimientos, y dependiendo del resultado conformarlos a su altura original. Respecto a los taludes, en lagunas grandes donde se generen vientos de consideración, conviene poner un pedraplén o un zampeado en la parte húmeda de los bordos para protegerlos del oleaje. En la parte seca del talud es recomendable sembrar pasto para evitar la pérdida de suelo. La Ilustración 5.1 pre-

Ilustración 5.1 Limpieza y remodelación de bordos

senta un ejemplo de limpieza y remodelación de bordos.

5.3.2 MANTENIMIENTO DE CAMINOS

Los caminos y vialidades de la planta de tratamiento, deberán ser transitables durante todo el año y estar libres de obstáculos. Sobre esto, se puede considerar necesario el realizar cunetas, alcantarillas y cualquier obra de arte adicional necesaria para el buen drenaje de las vialidades.

Es importante señalar que los bordos no deben presentar grietas de falla (fisuras longitudinales), de presentarse, el operador deberá informar rápidamente a su superior para solucionar el problema y evitar deslizamiento de taludes. En la Ilustración 5.2 se presentan dos caminos con un buen mantenimiento.





5.3.3 MANTENIMIENTO DE ÁREAS VERDES

Las áreas verdes y jardines mantenidos en buenas condiciones darán una imagen grata a la planta. Esto es muy importante durante la llegada de visitantes, y le ayudarán a mantener buenas relaciones con el público en general. Un arreglo a los jardines da mucha apariencia. Generalmente una planta con muchos jardines y flores dará la sensación de estar limpia y operando en las mejores condiciones

5.4. CONSERVACIÓN DE EDIFICIOS, TANQUES Y CANALES

5.4.1 CONSERVACIÓN DE EDIFICIOS

El mantenimiento de edificios es otro programa que debe ser llevado a cabo con regularidad. Los edificios en una planta de tratamiento son construidos normalmente de materiales resistentes, para durar muchos años. Los edificios deben mantenerse en buenas condiciones, cuando se

deba pintar la planta de tratamiento, se recomienda utilizar pinturas de excelente calidad, tanto para exteriores como interiores, una pintura cara pero buena le dará una mejor protección durante más tiempo. En la Ilustración 5.3 se presenta un ejemplo de edificio de oficinas.

5.4.2 CONSERVACIÓN DE TANQUES Y CANALES

Los tanques de la planta y canales, tales como obras de desvío, desarenadores y cárcamos de bombeo, deben ser drenados o vaciados para inspección cuando menos una vez por año. Cerciórese que el nivel freático está lo suficientemente bajo, de tal manera que los tanques no flotarán con el agua del subsuelo cuando lleve a cabo el vaciado de estos, o que se produzcan grietas por la subpresión del subsuelo.

En cuanto a colores y señalamiento deberá cumplirse con la "Norma Oficial Mexicana NOM-026-STPS-1998", para fijar colores y señales de seguridad, higiene e identificación de riesgos por fluidos conducidos por tuberías.

Ilustración 5.3 Ejemplo de edificio oficinas



5.5. MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS

El programa de mantenimiento de edificios depende de la edad, tipo y uso de un edificio. En edificios nuevos se requiere verificar que todos los accesorios trabajen apropiadamente. Edificios viejos requieren observaciones cuidadosas y una rápida atención por fugas, equipo descompuesto (aire acondicionado, calefacción, etcétera). Se tiene que dar atención a muchas cosas en los edificios, tales como: sistema eléctrico, plomería, calefacción o refrigeración, ventilación, pisos, ventanas, azoteas, drenaje y alcantarillas. Realice una verificación regular de estas cosas y prevenga problemas futuros. En cada edificio de la planta de tratamiento, verifique periódicamente

el estado de las escaleras, barandales de seguridad y plataformas. Asegúrese de que hay un buen alumbrado, altura y fuertes barandales de protección. Revise cualquier alteración o desorden en los edificios, tales como tubería tirada, insuficiente claro libre para pasar por un camino determinado, alcantarilla destapada, etc. Las áreas de almacén deben estar organizadas y limpias. En la Ilustración 5.4 se presenta el ejemplo de un edificio de talleres con buen mantenimiento.

Mantenga todos los edificios limpios y ordenados. Los sanitarios deben encontrarse en perfectas condiciones de operación y muy limpios. Todas las herramientas de la planta y el equipo deben mantenerse pulcras y en el lugar apropiado. Pisos, ventanas y paredes deben asearse regu-

Ilustración 5.4 Ejemplo de un edificio con buen mantenimiento



laramente para mantener una buena higiene. Una planta de tratamiento que se mantiene limpia y ordenada, proporciona un agradable y seguro ambiente de trabajo.

5.6. RESUMEN

En Tabla 5.4 se presenta un ejemplo de lista de actividades de operación y mantenimiento a revisar y realizar en una planta a base de lagunas de aireación.

Tabla 5.4 Lista de actividades de operación y mantenimiento

Concepto	Frecuencia
Aspectos generales a revisar	
1.- Formación de espuma en la superficie de las lagunas	Diaria
2.- Señales de madrigueras de animales en los bordos	Diaria
3.-Condiciones anaerobias. Indicadas por el color negro del agua en la laguna	Diaria
4.- Crecimiento de maleza	Diaria
5.- Señales de erosión	Diaria
6.-Fugas de agua en bordos	Diaria
7.- Formación de hielo. Sólo en invierno para lugares muy fríos	Como sea necesario
8.-Presencia de cortos circuitos hidráulicos	Diaria
Obra de toma	
1.-Limpieza de rejillas y adecuada disposición de la basura extraída	Diaria
2.-Obtención de parámetros de calidad del agua cruda	Una vez al mes
3.-Medición del caudal de entrada	Diaria
4.-Limpieza de canales desarenadores y adecuada disposición de la basura extraída	Diaria
5.-Obtención de parámetros de calidad del influente a la laguna aireada	Como sea necesario
Cárcamo de Bombeo	
1.- Limpieza del cárcamo de bombeo	Una vez al mes
2.-Revisión de la operación de las bombas	Diaria
3.-Operación de la planta de emergencia	Una vez al mes
4.-Toma de tiempo de la operación de las bombas	Diaria
5.-Limpieza de flotadores de control de nivel	Una vez a la semana
6.-Lubricación de bombas	Una vez al mes
Aireadores	
1.-Correcta operación de cada uno de los aireadores	Diaria
2.-Medición del amperaje	Diaria
3.-Estado de los anclajes de sujeción	Diaria
4.- Lubricación de motores	Una vez al mes
Obra civil	
1.-Puerta de acceso en buenas condiciones	Como sea necesario
2.-Cercas de protección dañadas	Como sea necesario
3.-Estado del pavimento y señalamiento de vialidades	Una vez a la semana
Caseta de vigilancia y edificios de la planta	
1.-Estado de puertas y ventanas	Como sea necesario
2.-Estado del inodoro y lavabo	Como sea necesario
3.-Estado de la regadera	Como sea necesario
4.-Pintura de edificios y estructuras de tratamiento	Una vez al año
Iluminación	
1.-Estado del cableado de la iluminación	Una vez al mes
2.-Luminarias fundidas	Una vez al mes
3.-Estado de los postes	Una vez al mes



6

SEGURIDAD, HIGIENE Y SALUD OCUPACIONAL

6.1. INTRODUCCIÓN

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

La gestión eficaz de una instalación de aguas residuales refleja la excelencia en todos los aspectos de la operación, incluyendo la seguridad y la salud en el trabajo. Las medidas para la seguridad y salud en el trabajo, deben mantener una actitud positiva desde la dirección para la prevención de accidentes y enfermedades profesionales. Esta actitud se refleja tanto en los supervisores como en los empleados. La administración debe demostrar continuamente el interés en algún programa de control de accidentes, inclu-

yendo la planeación para casos de emergencia y la prevención de enfermedades profesionales, con la participación y cooperación de los empleados. Los programas exitosos de seguridad y las consideraciones de salud laboral, se logran desde la concepción de una instalación de aguas residuales en su diseño, construcción, operación y mantenimiento.

6.2. SEGURIDAD

Una planta de tratamiento que trabaja sin seguridad no tiene razón de ser. Reconocer condiciones de inseguridad y corregirlas es de vital importancia. El operador tiene que tomar muy en serio la seguridad en su planta.

Siempre tenga en cuenta lo siguiente:

LOS ACCIDENTES NO SUCEDEN, SON CAUSADOS

En esta sección se dará una guía general sobre seguridad para el personal que trabaja en lagunas aireadas, pero es necesario que el operador busque una agencia especializada en seguridad para que le proporcione la asistencia requerida para su personal.

6.2.1 ¿POR QUÉ LA SEGURIDAD?

Usted únicamente tiene una vida, protéjala. Las plantas de tratamiento de aguas negras en los Estados Unidos han ocupado lugares de importancia en accidentes.

El responsable de la planta de tratamiento debe preocuparse por proporcionarle un lugar de trabajo seguro. Pero usted como operador tiene bajo su cuidado la responsabilidad de la operación de la planta, y debe actuar de tal manera que esta siempre sea un lugar seguro para trabajar. Lo anterior únicamente puede llevarse a cabo *pensando y actuando con seguridad*.

Usted tiene la responsabilidad de protegerse a sí mismo, a su personal y a visitantes, estableciendo procedimientos de seguridad para su planta y vigilando que sean llevados a cabo.

Aprenda a reconocer acciones potencialmente peligrosas. Cuando usted reconozca un riesgo, tome acción inmediata para corregirlo o eliminarlo, si no es posible eliminarlo, realice actividades que eviten accidentes. Como individuo, usted está sujeto a accidentes o daño a propiedad ajena como resultado de su descuido. Recuerde: "LOS ACCIDENTES NO SUCEDEN... SE HACEN", esto es una verdad, ya que detrás de un accidente hubo una serie de acciones que condujeron a un acto de inseguridad o una combinación de ellos. Piense en la seguridad. Los accidentes pueden ser prevenidos usando buen sentido común, aplicando algunas reglas básicas, y adquiriendo un buen conocimiento de los riesgos en su planta.

Una buena frase:

**NO HAY TRABAJO TAN IMPORTANTE
NI EMERGENCIA TAN GRANDE QUE
NO TENGAMOS TIEMPO PARA TRABAJAR
CON SEGURIDAD**

Es muy recomendable que el personal de la planta de tratamiento reciba periódicamente pláticas sobre seguridad personal para prevenir accidentes.

6.2.2 PENSAMIENTO DE SEGURIDAD

La mejor manera de formar conciencia entre el personal de la planta de tratamiento es mediante la capacitación. Un amplio programa de capacitación incluirá los siguientes elementos básicos de higiene, salud y seguridad:

- Los peligros en las instalaciones de plantas de tratamiento de aguas residuales
- Salud de los empleados y la higiene industrial
- Equipos de protección personal, incluyendo la protección respiratoria
- Limpieza industrial
- Manipulación y almacenamiento de materiales
- Seguridad en el uso de herramientas manuales y eléctricas
- Prevención y control de incendios
- Primeros auxilios
- Accidentes y notificación de enfermedades
- Accidentes y la investigación de enfermedades

- Bloqueo y etiquetado de seguridad de energía
- Entrada en espacios confinados y los procedimientos de rescate
- Planes de emergencia y comunicación temprana a la comunidad

La formación en prevención debe comenzar cuando el nuevo empleado se presenta a trabajar. El supervisor debe asegurarse de que el empleado adquiera una comprensión completa de las políticas de higiene, seguridad y salud así como la responsabilidad de seguridad en la planta. Con este adoctrinamiento, el empleado debe recibir una copia de seguridad de la planta así como las normas de salud y orientación, enfatizando el cumplimiento. El empleado también debe aprender acerca de los equipos de protección que utilizará en la planta y los requisitos de higiene personal.

El supervisor o jefe de planta se encargará de entrenar a nuevos empleados en los procedimientos de trabajo seguro, y deberá de darle seguimiento para asegurarse que ha adoptado tales procedimientos. La formación de los empleados en primeros auxilios, y el uso de equipos e instrumentos de protección es imprescindible. Las áreas peligrosas y procedimientos de trabajo en estas áreas deben ser comunicados a todos los empleados. El supervisor o jefe de planta revisa los procedimientos de emergencia con cada empleado y se asegura que estos procedimientos se entiendan.

6.2.3 SERVICIOS MÉDICOS Y PRIMEROS AUXILIOS

Los programas modernos de salud laboral, independientemente de su tamaño, son servicios

diseñados para mantener la salud de la fuerza de trabajo, prevenir o controlar las enfermedades, accidentes laborales y no laborales, así como la discapacidad para evitar la pérdida de tiempo.

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

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

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

- Una persona o personas debidamente capacitadas en primeros auxilios para cada turno de operación
- Contar con un botiquín y equipo de primeros auxilios
- Un manual de primeros auxilios
- Carteles con indicaciones y números de teléfono para llamar al médico y al hospital más cercano

- Carteles con indicaciones y números de teléfono para el traslado de los empleados enfermos o heridos
- Carteles con indicaciones para llamar a una ambulancia o equipo de rescate

6.3. SEGURIDAD EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO A BASE DE LAGUNAS AIREADAS

En los sistemas de tratamiento a base de lagunas aireadas, las áreas de trabajo potencialmente peligrosas, donde se registra el mayor número de accidentes son las siguientes.

6.3.1 OBRA DE TOMA

En este punto se cubren algunos aspectos de seguridad en rejillas de barras y estaciones de bombeo.

6.3.1.1 Rejilla gruesa

Estas pueden ser de operación manual o automática. Cuando sean de limpieza manual, cerciórese de que tenga un área limpia y firme para pararse y llevar a cabo la operación de limpieza de las barras. Remueva algas, grasas u otro material que le pueda causar algún resbalón, *una buena limpieza en esta área es fundamental.*

Cuando esté limpiando las barras, asegúrese de tener espacio suficiente para que pueda manejar la longitud de su rastrillo, de tal manera que usted no será desbalanceado si el rastrillo topa contra la pared. Use guantes para evitar raspones en las manos, esto puede ocasionarle una infección en el cuerpo.

Coloque todo el material recolectado con el rastrillo en un contenedor que puede ser fácilmente removido de la estructura. No levante material muy pesado, como arena, ya que puede provocarse una hernia o una dislocación de una vértebra de la columna.

Debe tener a la mano un dispositivo para colgar su rastrillo cuando no lo use, no lo deje tirado en el pasillo.

Si tiene una rejilla con limpieza automática, nunca trabaje en los circuitos eléctricos sobre partes mecánicas sin antes apagar la unidad. Cuando vaya a quitar partes o hacer una operación mayor, apague la unidad y ponga un bloqueo al apagador.

6.3.2 ESTACIONES DE BOMBEO

En las estaciones de bombeo, antes de trabajar en partes mecánicas y circuitos eléctricos, apague la unidad de tratamiento y bloquee el apagador de arranque.

Si es un área muy encerrada, proporcione y mantenga ventilación adecuada para remover gases y abastecer oxígeno a los operadores. Siempre verifique si hay gases antes de entrar. *No fume en estas áreas.*

Proporcione ventilación adecuada para remoción de gases y abastecimiento de oxígeno, si la estación de bombeo está abajo del nivel de piso y con ventilación forzada, cerciórese que el ventilador esté operando antes de entrar (si es que la estación de bombeo está muy cerrada). Nunca remueva las flechas de las bombas o piezas de motores sin antes parar el equipo. Quite

todo derrame de grasa o aceite inmediatamente. Nunca arranque una bomba de desplazamiento positivo contra una válvula cerrada. En bombas de pistón, el yugo de válvulas de contraflujo se puede romper y dañar a las personas que se encuentren cerca.

Fíjese donde pisa y hágalo con cuidado, puede haber sustancias en el escalón (lana, aceite, grasa) que pueden hacerlo caer, use los barandales. Si es posible aplique bandas antiderrapantes a los escalones, o coloque escalones rugosos. Si hay necesidad de usar herramienta o equipo al fondo del área, bájelos en una cubeta y usando una soga, no intente bajar con las herramientas por las escaleras, y menos si son de tipo marino.

6.3.3 DESARENADORES

Los canales desarenadores pueden ser de varias formas y tamaños, pero tienen una cosa en común: se ensucian bastante, manténgalos limpios, sobre todo pasillos de acceso, para evitar resbalones. Si hay necesidad de entrar al canal de desarenación hágalo con precaución.

6.3.4 LAGUNAS DE AIREACIÓN Y ESTABILIZACIÓN

1. Mantener un alto nivel de limpieza. Esto involucra mantener los pisos, caminos de acceso, paredes y equipo libre de tierra, grasa y escombros. No dejar la herramienta olvidada después de efectuar alguna reparación. Lo anterior le evitará tener condiciones inseguras en su planta
2. Se debe ser muy precavido cuando trabaje con el sistema de energía eléctrica (centro de control de motores). Nunca manipular equipo eléctrico cuando se tengan las manos mojadas, o zapatos y

ropa en esta condición. Siempre se debe usar guantes de seguridad y cerciorarse que bloqueó el interruptor principal de energía eléctrica. Normalmente, cuando se requiere dar mantenimiento a los aireadores flotantes en la laguna aireada, o hacer alguna reparación o verificación, se tiene la necesidad de llegar al aireador en bote de remos. Antes de realizar cualquier observación, se debe apagar los aireadores en el interruptor principal que se encuentra en el centro de control de motores y bloquear el interruptor. Para cualquier trabajo en los aireadores flotantes (lo cual involucra transportarse en bote de remos), se requiere de un mínimo de dos personas debidamente protegidos con chalecos salvavidas. Nunca realizar cualquier actividad dentro de la laguna aireada cuando los aireadores estén en operación, Los aireadores tienen una capacidad de turbulencia y bombeo bastante considerable y puede ocasionar que el bote naufrague, con posibles consecuencias fatales

3. Cuando se requiera realizar algún trabajo se debe enviar al personal necesario y capaz de efectuar la actividad requerida, también que el equipo que se tiene sea el adecuado
4. Uno de los requerimientos para un operador de lagunas de estabilización o aireadas es que pueda nadar al menos 30 metros con la ropa normal de trabajo
5. Se debe contar con suficientes extinguidores en lugares accesibles y fáciles de localizar en caso de un incendio por corto circuito eléctrico
6. Realizar campañas de seguridad y concientización del personal acerca de las instrucciones específicas de seguridad

dentro de su planta. Tales instrucciones de seguridad deben incluir cómo contactar al centro médico más cercano, al departamento de bomberos, y a la policía. Además, se debe proporcionar a los operadores un entrenamiento en técnicas de rescate y primeros auxilios

7. Se debe disponer de medidas de seguridad en caso de gases venenosos, mezclas explosivas y deficiencia de oxígeno

El riesgo principal por gases, asociado con el tratamiento de aguas residuales, es la acumulación de gas proveniente del sistema de drenaje y su mezcla con otros gases o aire, lo cual puede causar la muerte o daño debido a la explosión, o la asfixia por deficiencia de oxígeno. El concepto del gas proveniente del drenaje se aplica generalmente a una mezcla de gases de dióxido de carbono, metano, hidrógeno, ácido sulfhídrico y bajos porcentajes de oxígeno. Tales gases provienen de la descomposición de la materia orgánica acumulada en los drenajes. El ácido sulfhídrico es tóxico a muy baja concentración y la característica principal es su olor a huevos podridos.

Cuando se deba ingresar a pozos de visita o estaciones de bombeo, se debe verificar que haya sido ventilado cuando menos quince minutos antes. En este tipo de lugares se recomienda llevar equipo portátil para detección de gases. La cantidad relativa de agua en una laguna de estabilización es insignificante en comparación con el número de cuerpos de agua existentes (lagos, lagunas, etcétera) en algunas localidades.

En algunos poblados las lagunas de estabilización representan el único cuerpo de agua, siendo centro de atracción con propósitos de

recreación para niños y adultos. Incluso, se han presentado casos de personas paseando en botes de remos, caza de patos y gente nadando. La recreación en estas lagunas debe evitarse, ya que aunque la remoción de bacterias en las lagunas de estabilización es muy grande, la posibilidad de contraer una infección es alta.

Una consideración importante, es que la profundidad de las lagunas varía de 1.5 a 6 metros, y que los bordos son muy resbalosos. Si alguna persona se llegara a caer en la laguna, le sería extremadamente difícil salir por sí misma.

6.4. HIGIENE PERSONAL DE LOS OPERADORES

Los siguientes puntos que se mencionaran deben tenerse muy en cuenta para el bienestar de los operadores y de sus familias.

- a) Nunca llevarse a la boca ningún bocado o cualquier cosa, sin antes lavarse muy bien las manos. Para ello se debe utilizar suficiente jabón y agua
- b) Abstenerse de fumar mientras trabaja en pozos de visita, estaciones de bombeo u otras unidades de tratamiento donde las manos puedan ser contaminadas
- c) No cargar botas y ropa de trabajo en el coche y no llevarlas a casa. Solicitar que el propietario de la planta de tratamiento proporcione el servicio de lavandería
- d) Siempre se debe limpiar el equipo personal, tal como cinturones de seguridad, mascarillas, guantes y demás equipo
- e) Mantener uñas bien cortadas y limpias. Las uñas son un excelente transporte de gérmenes

6.4.1 PRECAUCIONES CONTRA INFECCIONES Y ENFERMEDADES

- a) Cualquier herida o raspadura se debe atender rápidamente. Cuando se trabaja con aguas residuales, la herida o raspadura más pequeña es potencialmente peligrosa y se debe limpiar y aplicar inmediatamente una solución al 2 por ciento de tintura de yodo
- b) Se debe recurrir al doctor para la atención heridas más graves
- c) Se debe proporcionar entrenamiento en primeros auxilios a todo el personal
- d) La aplicación de las vacunas de tifoidea paratifoidea y tétano es imprescindible, así como mantener un registro de vacunas de todos los empleados
- e) Cuando se trabaje en laboratorio, utilizar bulbos de succión para las pipetas y no usar la boca. Tampoco se deben usar los vasos del laboratorio para tomar agua y nunca preparar comida en el laboratorio



CONCLUSIONES DEL LIBRO

Una laguna aireada es un sistema de estabilización de la materia orgánica, a la cual se le ha colocado un sistema de aireación para incrementar la cinética de biodegradación, mediante el aumento de la concentración de oxígeno disuelto en el agua a tratar, propiciando el desarrollo de microorganismos aerobios.

La diferencia fundamental que existe entre una laguna aireada y un tanque de aireación, de los empleados en los sistemas de lodos activados, está en la cantidad de microorganismos presentes en el sistema y la recirculación que no siempre se incluye en las lagunas aireadas. En el proceso de lodos activados se controla mediante la purga y la recirculación el lodo sedimentado en el sedimentador secundario, mientras que en una laguna aireada, es estrictamente el paso del flujo a través de ella, donde la concentración de los sólidos es una función de las características del agua a tratar, y del tiempo de retención del sistema.

Dentro del libro se dan recomendaciones generales relativas a la recepción, manejo, ensamblado y colocación de los aireadores superficiales. Las cuales están sujetas a las especificaciones de instalación proporcionadas por el fabricante del equipo.

En el libro, se incluye un capítulo referente a "Seguridad, Higiene y Salud Ocupacional", pues se considera indispensable advertir a los trabajadores los riesgos y peligros de su trabajo a fin de preservar su salud y evitar accidentes laborales.

Cabe hacer notar que las recomendaciones del libro son generales, y que cada planta presenta particularidades propias que es necesario adaptar a cada caso. Se espera que la información presentada en el presente libro sea de ayuda al personal que trabaja en lagunas aireadas, para que desarrolle mejor su trabajo.



BIBLIOGRAFÍA

- Ackers, J., Brandt, M., & Powell, J. (2001). *Hydraulic Characterisation of Deposits and Review of Sediment Modelling*. London, Uk. : UK Water Industry Research, 01/DW/03/18.
- Barry Lloyd, J., Andreas Leitner, R., & Gugnesharajah, K. (2006). *Surveillance for Improvement of Waste Stabilisation Ponds*: Librari of Congress.
- CONAGUA. (2011). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Crites, R., & Tchbanoglous, G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Editorial Mc Graw-Hill.
- Béchaux, Jacques & Bébin, Jean (1973). *Manual técnico del agua*. Madrid: Degrémont.
- Dinges, R. (1978). *Upgrading Stabilization Ponds Effluent by Wastewater*. Hyacinth Culture, J. WPCF.
- Metcalf & Eddy (1977). *Tratamiento y depuración de las aguas residuales*. Barcelona: Labor, S.A.
- EPA. (1983). *Municipal Wastewater Stabilization Ponds, Desing Manual*.
- EPA. (1992). *Environmental Protection Agency "Guidelines for Water Reuse"*.
- EPA, (1992). *Environmental Protection Agency "Guidelines for Water Reuse"*.
- EPA, (2011). *Principles of Design and Operations of Wastewater Treatment Pond Systems for Plant Operators, Engineers, and Managers*. United States: Office of Research and Development National Risk Management Research Laboratory.
- Lloyd, J. B., Andreas, R. L., & Kandiah, G. (2006). *Surveillance for Improvement of Waste Stabilisation Ponds*. UK: British Library.
- Metcalf, & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. New York: McGraw Hill.
- Middlebrooks, E., Middlebrooks, C., Reynold, J., Watters, G., Reed, S., & Dennis, G. (1988). *Wastewater stabilization Lagoon Desing, Performanceand Upgrading*. Macmillan Pub.
- Rolim Mendoca, S. (2000). *Sistemas de lagunas de estabilización*. New York: McGraw Hill.
- Rojas, Romero, J. A. (1999). *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización*. Edición Alfaomega.
- SEDUE. (1985). *Operación y mantenimiento de lagunas aireadas*. Ed. Impresora azteca.
- SEMARNAT. (1996). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT.(2002).NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.-Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

Sotelo Ávila, G. (1985). Hidráulica general. Vol. I, Ed. Limusa. ISBN: 968-18-0503-8.

Trueba Coronel, S. (1979). Hidráulica. México D.F.: Ed. CECSA.

WHO. (1987). *Wastewater Stabilization Ponds (10)*: WHO Environmental Technical Publication.

A

ANEXOS

A.1. FORMATO PARA ARRANQUE DEL PROCESO DE LAGUNAS AIREADAS

Nombre de la planta de tratamiento:

Localización:

Entidad:

Observador:

Fecha:

Hora:

Día de arranque n:

Arranque del proceso de Lagunas Aireadas					
Parámetro	Agua cruda	Efluente desarenador	Interior de la laguna aireada	Efluente final	Observaciones
Caudal (L/s)		-----	-----		
ST (mg/L)					
SSV (mg/L)					
DBO (mg/L)					
DQO (mg/L)					
OD (mg/L)	-----				
S Sed (ml/L)		-----	-----		
Temperatura (° C)					
pH					
Turbiedad (UT)					
Demanda de Cl (mg/L)					
NMP/100 mL					

Características organolépticas					
Parámetro	Agua cruda	Efluente desarenador	Interior de la laguna aireada	Efluente final	Observaciones
Olor			-----	-----	
Color					
Natas	-----	-----			
Espumas	-----	-----			

Croquis del sistema lagunar:

A.2. FORMATO EJEMPLO DE PROGRAMA DE MUESTREO PARA EL CONTROL DE UN SISTEMA LAGUNAR

Nombre de la planta de tratamiento:

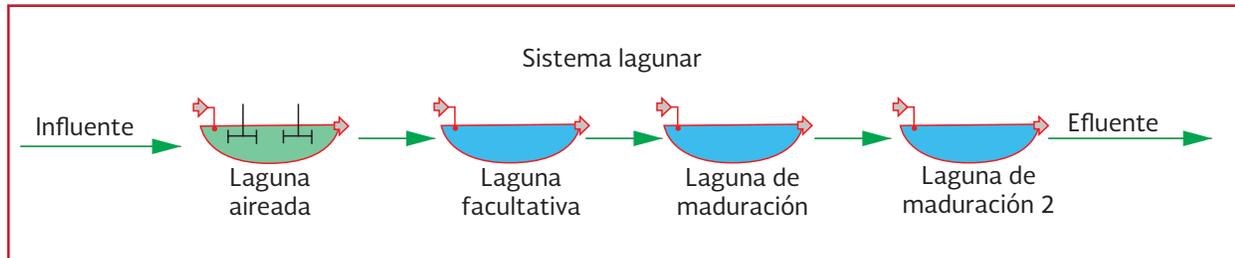
Localización:

Observador:

Entidad:

Fecha:

Hora:



Parámetro	Frecuencia - Tipo de muestra	Influente (agua cruda)	Salida de la:				Efluente (agua tratada)
			Laguna aireada	Laguna facultativa	Laguna de maduración 1	Laguna de maduración 2	
Caudal	RC - D		-----	-----	-----	-----	
DBO5	3/s - C		-----	-----	-----	-----	
DQO	3/s - C		-----	-----	-----	-----	
SST	3/s - C			-----			
SSV	3/s - C			-----			
N-Kjeldahl	2/s - C	-----	-----	-----	-----	-----	
N-NH3	2/s - C	-----	-----	-----	-----	-----	
N-NO2	2/s - C	-----	-----	-----	-----	-----	
N-NO3	2/s - C	-----	-----	-----	-----	-----	
P	2/s - C		-----	-----	-----	-----	
Sol. Sed	D - C	-----		-----	-----	-----	-----
OD	D - I	-----					
pH	D - I	-----					
Temp.	D - I						
Cl residual	D - I	-----	-----	-----	-----	-----	

Simbología

2/s Dos por semana

D Diaria

C

I

Muestra compuesta

Muestra individual

RC

Registro totalizado

Sitios sin muestra

A.3. FORMATO PARA RECIBIMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA TURNOS DE OPERACIÓN EN UNA PLANTA DE LAGUNAS AIREADAS

Nombre de la planta de tratamiento:

Localización:

Entidad:

Recepción del turno de operación

Turno de operación n.

Jefe de turno:

Fecha:

Hora:

Entrega del turno de operación

Turno de operación n.

Jefe de turno:

Fecha:

Hora:

Sitio	Q (L/s)	Temperatura (° C)		Presencia de:				Observaciones
		Agua	Ambiente	Olor	Color	Natas	Espumas	
Influyente								
Entrada a la laguna aireada								
Entrada a la laguna facultativa								
Entrada a la laguna de maduración 1								
Entrada a la laguna de maduración 2								
Efluente								

Nota: Las características organolépticas se responderán con Si o No, indicando la semejanza del olor presentado, color del agua, de las natas y de las espumas.

Medidor eléctrico: Lectura inicial:

kWh

Lectura final:

kwh

Diferencia:

kwh consumidos en el turno

Croquis del sistema lagunar

A.4. FORMATO PARA ACTIVIDADES DIARIAS DE OPERACIÓN PARA LOS TURNOS EN UNA PLANTA DE LAGUNAS AIREADAS

Nombre de la planta de tratamiento:

Localización:

Entidad:

Recepción del turno de operación

Turno de operación n.

Jefe de turno:

Fecha:

Hora:

Entrega del turno de operación

Turno de operación n.

Jefe de turno:

Fecha:

Hora:

Inspeccione el perímetro de las lagunas tomando nota de las condiciones siguientes:

SI Revisión realizada

No No procede hacer la revisión (revisión no realizada)

Recepción de la planta				
Revisión de:	Si	No	Observaciones	Acciones emprendidas
1. Formación de espuma en la superficie de las lagunas				
2. Señales de madrigueras de animales en los bordos				
3. Condiciones anaerobias. Indicadas por el color negro del agua residual en la laguna				
4. Crecimiento de maleza				
5. Evidencia de erosión				
6. Fugas de agua en bordos				
7. Formación de hielo. Sólo en invierno para lugares muy fríos				
8. Presencia de cortos circuitos hidráulicos				

Pretratamiento				
Revisión de:	Si	No	Observaciones	Acciones emprendidas
1. Limpieza de rejillas y adecuada disposición de la basura extraída				
2. Obtención de parámetros de calidad del agua cruda				
3. Medición del caudal de entrada				
4. Limpieza de canales desarenadores y adecuada disposición de la basura extraída				
5. Obtención de parámetros de calidad del influente a la laguna aireada				

Cárcamo de bombeo				
Revisión de:	SI	NO	Observaciones	Acciones emprendidas
1. Limpieza del cárcamo de bombeo				
2. Revisión de la operación de las bombas				
3. Operación de la planta de emergencia				
4. Toma de tiempo de la operación de las bombas				
5. Limpieza de flotadores de control de nivel				
6. Lubricación de bombas				

Aireadores				
Revisión de:	SI	NO	Observaciones	Acciones emprendidas
1. Correcta operación de cada uno de los aireadores				
2. Medición del amperaje				
3. Estado de los anclajes de sujeción				
4. Lubricación de motores				

Obra civil				
Revisión de:	SI	NO	Observaciones	Acciones emprendidas
1. Puerta de acceso en buenas condiciones				
2. Cercas de protección dañadas				
3. Estado del pavimento y señalamiento de vialidades				

Caseta de vigilancia				
Revisión de:	SI	NO	Observaciones	Acciones emprendidas
1. Estado de puertas y ventanas				
2. Estado del inodoro y lavabo				
3. Estado de la regadera				

Iluminación				
Revisión de:	SI	NO	Observaciones	Acciones emprendidas
1. Estado del cableado de la iluminación				
2. Luminarias fundidas				
3. Estado del pavimento de vialidades				

Realice un croquis del sistema lagunar señalando los lugares en donde se detectaron problemas



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

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

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

Otros sistemas de unidades		Multiplicado por	Sistema Internacional de Unidades (SI)	
Unidad	Símbolo	Factor de conversión	Se convierte a	
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	$^{\circ}\text{K}=5/9^{\circ}\text{Ra}$

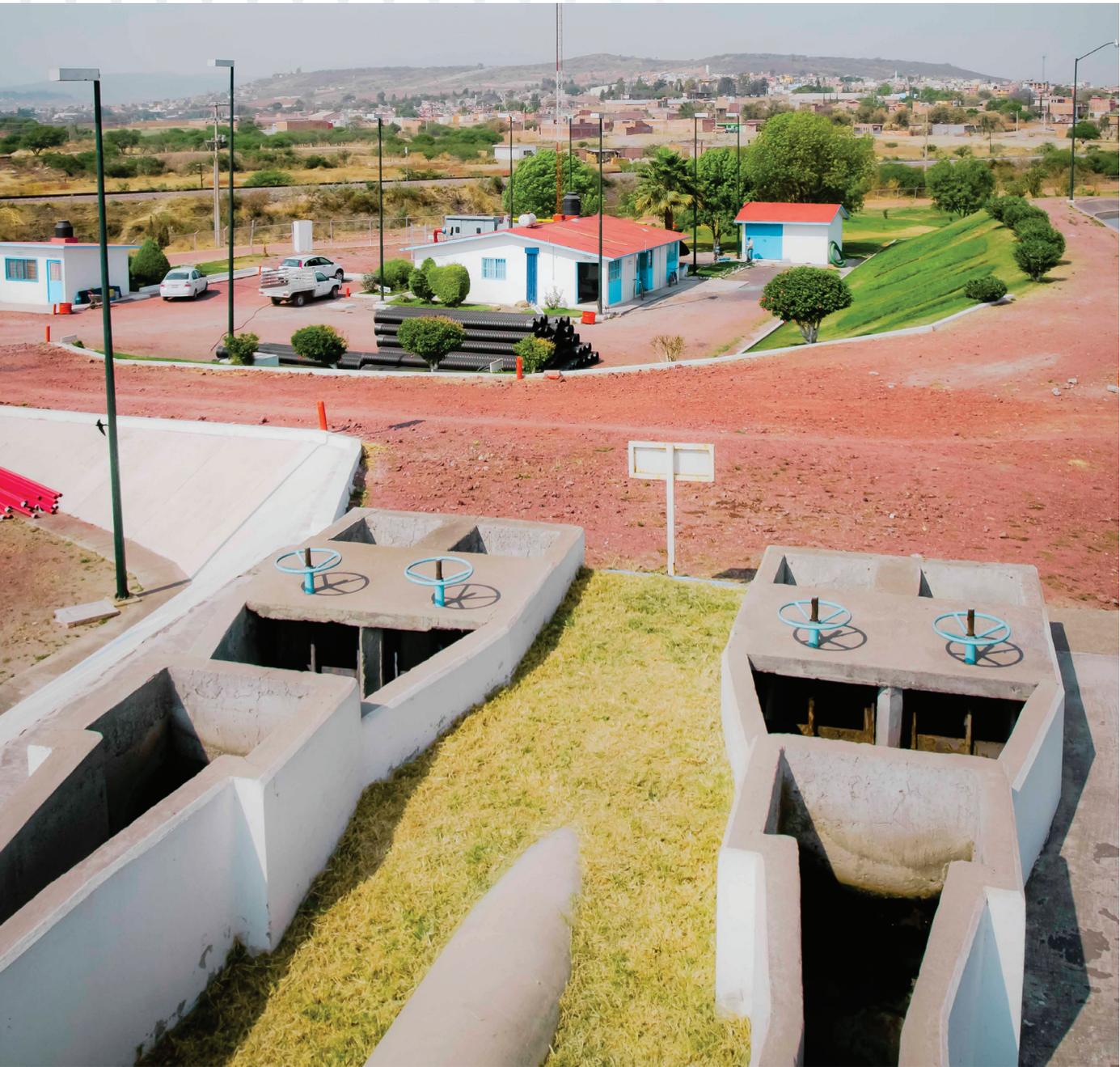
Factores químicos de conversión					
	A	B	C	D	E
Constituyentes	eppm a ppm	ppm a epm	eppm a gpg	gpg a epm	ppm a ppm CaCO ₃
calcio Ca ⁺²	20.04	0.04991	1.1719	0.8533	2.4970
hierro Fe ⁺²	27.92	0.03582	1.6327	0.6125	1.7923
magnesio Mg ⁺²	12.16	0.08224	0.7111	1.4063	4.1151
potasio K ⁺¹	39.10	0.02558	2.2865	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 Variación de OD a) Laguna sin airear b) Laguna aireada de mezcla completa.	2
Ilustración 1.2 Laguna aireada de mezcla completa	3
Ilustración 1.3 Laguna aireada de mezcla parcial	3
Ilustración 1.4 a) Obra de toma b) Canales desarenadores	5
Ilustración 1.5 Medidor Parshall con lector automático	5
Ilustración 1.6 Afluente a una laguna	5
Ilustración 1.7 Estructura de salida de una laguna aireada mediante un tubo de fricción móvil (tubo telescópico)	6
Ilustración 1.8 Estructura de salida de una laguna aireada	6
Ilustración 1.9 Efluentes de lagunas	7
Ilustración 1.10 Potencia de aireadores de succión vs profundidad de la laguna	8
Ilustración 1.11 Diversas geometrías de lagunas aireadas. Las lagunas en a) y b) siguen la topografía del terreno y c) presenta una forma rectangular	11
Ilustración 1.12 Diagramas típicos de operación según el número de lagunas	13
Ilustración 2.1 Impulsores de agitación del agua en aireadores	16
Ilustración 2.2 Aireadores mecánicos superficiales	17
Ilustración 2.3 Aireadores instalados a) Aireador fijo y b) Aireador flotante	17
Ilustración 2.4 Aireadores tipo cañón funcionando	18
Ilustración 2.5 Aireadores tipo turbina	19
Ilustración 2.6 Aireadores tipo turbina a) Flujo axial y b) Flujo radial	20
Ilustración 2.7 Aireadores mezcladores	20
Ilustración 2.8 Aireadores tipo cañón	20
Ilustración 2.9 Partes de un aireador flotante	22
Ilustración 2.10 Colocación de los aireadores en la laguna	22
Ilustración 2.11 Posición de los bloques de concreto para anclar aireadores	23
Ilustración 2.12 Accesorios para anclaje	23
Ilustración 2.13 Diferentes formas de anclaje	24
Ilustración 2.14 Accesorios complementarios para anclar aireadores	25
Ilustración 3.1 Distribución de aireadores en una laguna	28
Ilustración 4.1 a) Ejemplo de laguna a dragar y b) Tipo de lodo a retirar	38
Ilustración 4.2 Puntos de muestreo de una laguna aireada	39
Ilustración 4.3 Azolvamiento de una laguna aireada	39

Ilustración 4.4 Desazolve de una laguna	40
Ilustración 5.1 Limpieza y remodelación de bordos	45
Ilustración 5.2 Caminos con buen mantenimiento	46
Ilustración 5.3 Ejemplo de edificio oficinas	47
Ilustración 5.4 Ejemplo de un edificio con buen mantenimiento	48

TABLAS

Tabla 1.1 Componentes comunes en una planta de lagunas aireadas	4
Tabla 1.2 Concentraciones permisibles de metales pesados en el proceso de lodos activados (NOM-004-SEMARNAT-2002)	10
Tabla 1.3 Elementos comunes en una planta de lagunas aireadas	11
Tabla 2.1 Tamaño de atraques para fijar aireadores en lagunas aireadas	23
Tabla 3.1 Parámetros a observar en la puesta en marcha de una laguna aireada	30
Tabla 3.2 Puesta en marcha. Características a observar	31
Tabla 4.1 Control de la maleza acuática	35
Tabla 4.2 Control de animales que producen madrigueras	35
Tabla 4.3 Control de la vegetación del dique	35
Tabla 4.4 Corrección de fluctuaciones de OD y otros problemas en lagunas aireadas	36
Tabla 4.5 Problemas con aireadores mecánicos superficiales y como corregirlos	37
Tabla 4.6 Formato para determinar el azolvamiento de una laguna	40
Tabla 5.1 Programa anual de mantenimiento preventivo	42
Tabla 5.2 Servicio al equipo	43
Tabla 5.3 Registro del servicio	43
Tabla 5.4 Lista de actividades de operación y mantenimiento	49

