



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

27

FACULTAD DE INGENIERIA

"OPERACION Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO A BASE DE LAGUNAS FACULTATIVAS"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
CARLOS F. CARRANZA BENITEZ

2001-10



MEXICO D.F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/091/00

Señor
CARLOS FEDERICO CARRANZA BENITEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. ENRIQUE CESAR VALDEZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO A BASE DE LAGUNAS FACULTATIVAS"

- INTRODUCCION
- I. PROCEDENCIA DE LAS AGUAS RESIDUALES
 - II. CONCEPTOS BASICOS SOBRE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
 - III. GENERALIDADES DE LOS PROCESOS BIOLÓGICOS
 - IV. PRETRATAMIENTO
 - V. LAGUNAS FACULTATIVAS
 - VI. MANTENIMIENTO Y CONTROL DE LAS LAGUNAS FACULTATIVAS
 - VII. PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS LAGUNAS FACULTATIVAS
 - VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 22 de agosto de 2000
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GER/GMP/USIT

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES

Porque en los momentos buenos y malos, siempre me demostraron su apoyo, guiándome para seguir por el camino correcto y poder obtener así mi título profesional.

A MI HERMANO

Guillermo
Como muestra de cariño

A MIS MAESTROS

Porque a través de sus conocimientos impartidos lograron que tenga las bases necesarias para ejercer mi carrera

AGRADECIMIENTOS

A todos mis familiares y amistades,
que de una forma u otra, me ayudaron
en la elaboración del presente trabajo.

No hay agradecimiento
que pueda ser medido
porque las palabras o letras,
no se expresan con alguna medida,
solo se expresan con hechos.

A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MÉXICO

ÍNDICE

Índice

Lista de tablas

Lista de figuras

	Página
Introducción	1

CAPÍTULO I

Procedencia de las aguas residuales.

1.1 Principales fuentes de aguas residuales.	4
1.2 Características de las aguas residuales.	6
1.2.1 Características físicas.	6
1.2.2 Características químicas.	9
1.2.3 Características biológicas.	11
1.2.4 Composición de las aguas residuales	12
1.3 Aguas residuales industriales.	13
1.4 Muestreo de las aguas residuales.	14

CAPÍTULO II

Conceptos Básicos sobre tratamiento de aguas residuales.

2.1 Objetivos.	16
2.2 Normatividad.	17
2.3 Niveles de tratamiento.	18
2.4 Tipos de procesos.	19

CAPÍTULO III

Generalidades de los procesos biológicos.

3.1 Antecedentes históricos del tratamiento biológico.	27
3.2 Principales procesos biológicos.	29
3.3 Aspectos generales de las lagunas de estabilización.	33
3.4 Ventajas e inconvenientes del tratamiento del agua residual por lagunaje.	34
3.5 Tipos de lagunas de estabilización.	38

CAPÍTULO IV

Pretratamiento.

4.1 Medidores de caudal.	41
4.1.1 Canal Parshall.	42
4.1.2 Vertedores.	43
4.1.3 Medidores de caudal en líneas a presión.	48
4.1.4 Aplicaciones.	49
4.2 Desbaste: Rejas y tamices.	49
4.3 Desarenadores.	53
4.4 Cámaras de grasa.	55

CAPÍTULO V

Lagunas Facultativas.

5.1 Fundamentos de la depuración de las lagunas facultativas.	56
5.2 Factores que afectan a la depuración en lagunas facultativas.	59
5.2.1 Factores climáticos.	59
5.2.2 Factores físicos.	62
5.2.3 Factores químicos y bioquímicos.	63
5.3 Seres vivos en las lagunas facultativas.	70
5.4 Diseño en lagunas facultativas.	75
5.4.1 Métodos empíricos.	77
5.4.2 Métodos racionales.	80

CAPÍTULO VI

Mantenimiento y control de las lagunas facultativas.

6.1 Puesta en marcha de las lagunas facultativas.	88
6.2 Cuidado de la obra civil.	88
6.2.1 Limpieza del área de pretratamiento.	89
6.2.2 Limpieza de los medidores de caudal.	91
6.2.3 Limpieza de conducciones y arquetas de reparto.	92
6.2.4 Mantenimiento de taludes.	92
6.2.5 Mantenimiento de caminos y otros elementos de la planta.	94
6.2.6 Limpieza de los lodos acumulados en lagunas facultativas.	95
6.3 Medidas higiénicas.	95
6.4 Muestreo de las lagunas.	99
6.5 Control operativo.	101

CAPÍTULO VII

Problemas de funcionamiento de las lagunas facultativas.

7.1 Signos visibles del buen funcionamiento de las lagunas facultativas.	104
7.2 Problemas de funcionamiento.	105
7.3 Solución al problema de funcionamiento.	111

CAPÍTULO VIII

Conclusiones y recomendaciones.

8.1 Conclusiones.	114
8.2 Recomendaciones.	115

Bibliografía

Anexos.

A) Procedimientos para la obtención de las principales características de las aguas residuales.	117
B) Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996	125
GLOSARIO	127
Bibliografía	136

Lista de tablas

Tabla	Contenido	Página
Tabla 1.1	Composición típica del agua residual doméstica antes del tratamiento.	13
Tabla 1.2	Características de los tipos de muestras de aguas residuales.	15
Tabla 2.1	Procesos y operaciones de tratamiento.	20
Tabla 3.1	Principales procesos biológicos.	31
Tabla 3.2	Criterios seguidos en la elección de métodos de depuración de aguas residuales.	34
Tabla 3.3	Ventajas e inconvenientes del lagunaje en relación con los métodos convencionales de depuración.	38
Tabla 5.1	Géneros de bacterias más comunes en lagunas de estabilización.	71
Tabla 5.2	Géneros de algas y diatomeas en lagunas de estabilización.	72
Tabla 5.3	Relación de hongos identificados en lagunas de estabilización.	73
Tabla 5.4	Géneros de protozoos identificados en lagunas de estabilización.	74
Tabla 6.1	Medidas de seguridad en lagunas de estabilización.	98
Tabla 6.2	Formato para control operativo	103
Tabla 7.1	Problemas de funcionamiento.	112
Tabla A.1	Tiempo de almacenamiento, preservación y volumen de muestras.	123
Tabla B.1	Frecuencia de muestreo para conformar muestras compuestas.	125
Tabla B.2	Limites máximos permisibles para contaminantes básicos y tóxicos.	126

Lista de figuras

Figura	Contenido	Página
Figura 1.1	Tipos de sólidos en el agua residual.	8
Figura 3.1	Representación esquemática de algunas de las disposiciones más comunes de las lagunas en plantas de tratamiento por lagunaje.	40
Figura 4.1	Esquema de un canal Parshall.	42
Figura 4.2	Esquema de un vertedor.	44
Figura 4.3	Dimensiones mínimas de los vertedores con contracción lateral.	46
Figura 4.4	Vertedor triangular.	47
Figura 4.5	Vertedor de Cipoletti.	48
Figura 4.6	Tubo Venturi.	49
Figura 4.7	Rejas de limpieza manual.	51
Figura 4.8	Rejas de limpieza automática.	52
Figura 4.9	Tipos de tamices.	53
Figura 4.10	Desarenador de flujo horizontal.	54
Figura 5.1	Representación esquemática de la actividad de algas y bacterias en lagunas facultativas.	57
Figura 5.2	Esquema de los mecanismos responsables de la depuración en lagunas facultativas.	59
Figura 5.3	Ciclo del nitrógeno en ambientes acuáticos.	66
Figura 5.4	Ciclo del fósforo en lagunas de estabilización.	68
Figura 5.5	Ciclo del azufre en ambientes acuáticos.	70
Figura 5.6	Valores de kt en la ecuación de Wehner y Wilhelm respecto al porcentaje remanente para diversos factores de dispersión.	83

Operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento a base de lagunas facultativas

•Objetivo: Investigar, estudiar y describir el procedimiento de arranque de un sistema de tratamiento a base de lagunas facultativas, así como las actividades que incluye el mantenimiento, diagnóstico y corrección de problemas operativos.

INTRODUCCIÓN

El agua es probablemente el recurso natural más importante del mundo, ya que sin ella no podría existir la vida y la industria no funcionaría. A diferencia de muchas otras materias primas, el agua no tiene sustituto en muchas aplicaciones. El agua tiene un papel vital en el desarrollo de las comunidades, ya que es indispensable que su abastecimiento sea seguro para que una comunidad se establezca permanentemente. Sin embargo, los desechos líquidos y sólidos de una comunidad tienen un potencial considerable para contaminar el ambiente. En las civilizaciones primitivas el remedio para el problema de la contaminación era simplemente trasladar la comunidad a otro lugar; en las civilizaciones más avanzadas tal mudanza es impracticable y se debe tomar medidas para proteger y aumentar el abastecimiento de agua y para eliminar satisfactoriamente los materiales de desecho.

Los principales contaminantes que modifican la calidad natural de las corrientes de agua son: materia orgánica (ocasiona la disminución del oxígeno disuelto), nutrientes (provocan eutroficación), grasas y aceites (disminuyen la transferencia de oxígeno), organismos patógenos, metales pesados, detergentes y plaguicidas (afectan la salud humana, así como, la flora y fauna acuática).

Los ingenieros civiles tradicionalmente han participado en los trabajos para el abastecimiento de agua y la eliminación del agua residual. Esto se debe a que, probablemente, la ingeniería de salud pública constituye la mayor actividad de la ingeniería civil. Sin embargo, la ciencia y la tecnología del agua es un tema interdisciplinario que incluye la aplicación de principios biológicos, químicos y físicos asociados con las técnicas de ingeniería. El ingeniero de salud pública en colaboración con sus colegas científicos tiene una participación importante en la reducción de la incidencia de muchas enfermedades hídricas.

Las responsabilidades del ingeniero comienzan con la búsqueda de fuentes de abastecimiento y la construcción de plantas potabilizadoras para su tratamiento, el paso siguiente es surtir el agua ya tratada a los consumidores por medio de un complejo sistema de distribución. Generalmente, los usos domésticos e industriales del agua producen un deterioro en su calidad y se hace necesario recolectar las aguas residuales para darles un tratamiento efectivo antes de reusarlas o devolverlas al ambiente.

En el campo de tratamiento de aguas residuales se han desarrollado nuevas tecnologías de depuración que permiten tener una buena calidad de los efluentes tratados y a costos razonables de tratamiento.

Entre las técnicas de bajo costo utilizadas, la que ha conseguido mayor implantación es el lagunaje. El lagunaje es un proceso de tratamiento biológico de las aguas residuales, tendiente a remover o estabilizar la materia orgánica y mineral que contiene, ya que, por la economía que representan, tanto en su diseño y construcción, como en su mantenimiento y operación, es menor en comparación con otros procesos de tratamiento.

Este trabajo tiene la finalidad de exponer los principios de tratamiento, el diseño, mantenimiento, diagnóstico y corrección de problemas de funcionamiento de las lagunas facultativas.

En el Capítulo 1, se describe la importancia de conocer las características del agua residual a tratar, con el propósito de diseñar y operar correctamente el tratamiento a base de lagunas.

Los objetivos del tratamiento de las aguas residuales, así como, un resumen de las características de los procesos de depuración más usuales se presenta en el Capítulo 2.

Los aspectos generales, sus ventajas e inconvenientes y los tipos de lagunas de estabilización se exponen en el Capítulo 3.

Las operaciones de pretratamiento más utilizadas en el tratamiento a base de lagunas se explican en el Capítulo 4.

En el Capítulo 5, se especifican los fundamentos de tratamiento por medio de lagunas facultativas y sus procedimientos más utilizados para su diseño.

La descripción de las actividades necesarias para la puesta en marcha, mantenimiento y control de las lagunas facultativas se presentan en el Capítulo 6.

En el Capítulo 7, se exponen los problemas operativos más frecuentes de las lagunas facultativas, sus síntomas, causas y soluciones.

Capítulo I

Procedencia de las aguas residuales.

Capítulo I

Un sistema hidráulico urbano inicia en la fuente de abastecimiento donde es captada el agua que es suministrada a la población. Si el agua captada no cumple con las condiciones sanitarias para ser consumida, se le somete a procesos de potabilización, cumpliendo con los parámetros establecidos en las normas de calidad que se establecen a nivel mundial, en cada país, o incluso en cada estado. Posteriormente esta agua se entrega a los usuarios que al hacer uso de ella le agregan impurezas, que pueden proceder de distintas actividades; uso doméstico, comercial, industrial, servicios públicos, etc.

Las aguas residuales, mezcladas con contaminantes procedentes de todo tipo de uso que exista en una comunidad, son vertidas a sistemas de alcantarillado. Uno de los elementos del sistema es la planta de tratamiento de aguas residuales; posteriormente, a través del emisor de la red de agua residual tratada puede disponerse en cuerpos receptores que pueden ser de agua o suelo.

1.1 Principales fuentes de aguas residuales

Las aguas residuales tienen diversos orígenes y se pueden clasificar según la fuente de contaminación de la siguiente forma:

a) AGUAS MUNICIPALES. Son aquellas que incluyen el agua utilizada en actividades domésticas, tales como: limpieza (ropa, alimentos, pisos, automóviles), desperdicios de alimentos y desechos orgánicos; también en esta categoría está el agua utilizada por comercios, servicios y negocios.

b) **AGUAS INDUSTRIALES.** Se puede denominar de esta forma al agua utilizada en procesos de preparación, fabricación y transformación de materia prima en bienes materiales, que incorporan al agua, dependiendo del proceso, elementos cuyas concentraciones pueden ser tóxicas.

c) **OTROS USOS.** Aquí pueden considerarse las aguas que son utilizadas en otras actividades humanas, tales como: pesca, agricultura, recreación, minería, etc.

También se designa a las aguas residuales con términos que hacen alusión a su estado y que a continuación se presentan:

1) **AGUAS RESIDUALES FRESCAS.** Como su nombre ya indica, son aquellas que han sido recién descargadas. Estas aguas presentan un color grisáceo, olor mohoso que no es desagradable y contienen gran cantidad de sólidos en suspensión. Tendrán la calidad de frescas hasta que exista oxígeno disuelto suficiente para mantener la descomposición aerobia.

2) **AGUAS RESIDUALES SÉPTICAS.** Las aguas residuales entran en estado séptico cuando el oxígeno disuelto que se encontraba en el agua se agota y la materia entra en descomposición anaerobia. En este proceso de descomposición se desprende ácido sulfhídrico, entre otros gases, provocando en el agua un olor fétido y desagradable. El color de las aguas se vuelve negro.

3) **AGUAS RESIDUALES ESTABILIZADAS.** Son aquellas en las que la materia orgánica ha sido degradada hasta el punto en que ya no está sujeta a posteriores descomposiciones, o bien a descomposiciones muy lentas. En esta agua nuevamente existe la presencia de oxígeno disuelto ya que lo ha tomado de la atmósfera. Presenta pocos sólidos en suspensión y un olor casi nulo.

1.2 Características de las aguas residuales

Debido a la gran diversidad de elementos y compuestos que pueden estar presentes en las aguas residuales, no es factible detallar los componentes presentes en una muestra dada: sin embargo, se puede considerar que existe un conjunto de ellos que tienen importancia por la influencia que ejercen en la selección de una tecnología de tratamiento del agua, así como en el diseño y operación de la planta. A continuación se dividen en características físicas, químicas y biológicas.

1.2.1 Características físicas

Las características físicas son en muchos casos relativamente fáciles de identificar, inclusive utilizando únicamente la vista. A la población le preocupan desde el punto de vista estético ya que éstas son las que le dan la apariencia al agua residual. El parámetro físico más importante es el de contenido de sólidos.

1. **TEMPERATURA.** Es importante por su efecto en otras propiedades, por ejemplo, aceleración de reacciones químicas, reducción en la solubilidad de los gases, intensificación de sabores y olores, etcétera.

2. **OLOR.** Es causado principalmente por gases producidos por la descomposición de la materia orgánica, los cuales provocan aromas que suelen ser ofensivos al olfato.

3. **COLOR.** Es necesario diferenciar entre el color verdadero debido al material en solución y el color aparente debido a la materia en suspensión. Este parámetro indica el grado de descomposición de la materia orgánica. También se debe a algunas descargas industriales que colorean de una manera diferente el agua residual doméstica.

4. **SÓLIDOS.** Uno de los objetivos fundamentales de las plantas de tratamiento es la eliminación de los sólidos contenidos por el agua residual. Estos sólidos son de varios tipos:

- Sólidos totales. Si se toma una muestra de agua residual, se evapora toda el agua y se pesa el residuo seco resultante, se obtiene los sólidos totales contenidos en el agua de partida. Por tanto, esta medida da la cantidad total de sólidos presentes, independientemente de su naturaleza y de la forma en la que se encuentren en el agua.
- Sólidos disueltos. Son aquellos que atraviesan los filtros cuando se toma una muestra de agua residual y se hace pasar a través de un filtro muy fino.
- Sólidos en suspensión o no filtrables. Son los sólidos que quedan retenidos por el filtro.
- Sólidos sedimentables. Es la fracción de sólidos en suspensión capaz de separarse del agua residual por sedimentación. Esta medida tiene interés en el cálculo de sedimentadores y en las lagunas anaerobias.
- Sólidos no sedimentables. Es el resto de los sólidos en suspensión, que no se separan por sedimentación. La diferencia entre el comportamiento de los sólidos sedimentables y no sedimentables se debe al tamaño, forma y peso de las partículas sólidas.

Por tanto, la suma de sólidos sedimentables y no sedimentables da el total de sólidos en suspensión. La suma de sólidos en suspensión y sólidos disueltos da los sólidos totales presentes en el agua residual. Estas relaciones se explican en la figura 1.1.

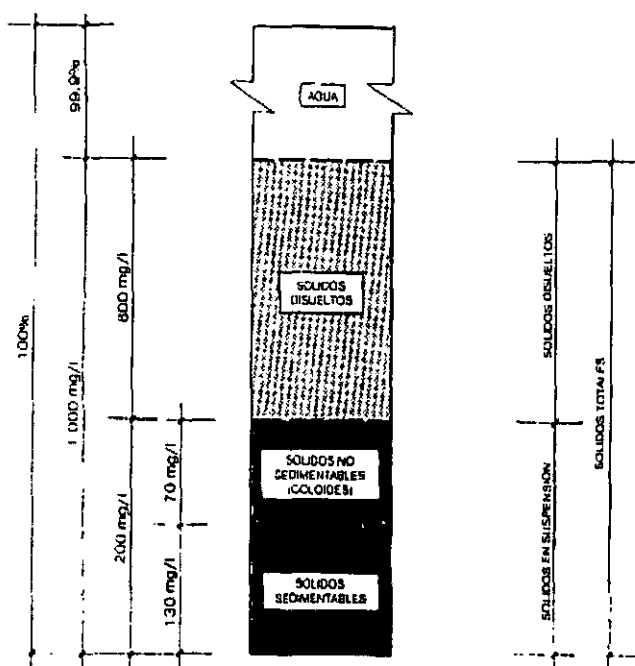


FIGURA 1.1
Tipos de sólidos en el agua residual

Además de esta clasificación, es importante la distinción entre sólidos inorgánicos y orgánicos. Los sólidos orgánicos pueden ser utilizados como alimento por las bacterias, que de esta forma los estabilizan durante el proceso de tratamiento. Por consiguiente, la medida de los sólidos orgánicos da una idea de la tratabilidad biológica del agua. Por otra parte los sólidos inorgánicos son sustancias minerales, y algunas de ellas son utilizadas también por los microorganismos. La suma de sólidos orgánicos e inorgánicos da los sólidos totales presentes en el agua.

5. CONDUCTIVIDAD. Esta medida indica la facilidad con la que la corriente eléctrica pasa a través del agua residual. Puesto que el agua pura es muy mala conductora de la corriente eléctrica, las conductividades elevadas indican la presencia de impurezas y más concretamente de sales disueltas.

6. **TURBIDEZ.** Este parámetro es una propiedad que mide la transmisión de la luz en el agua e indica la calidad de las descargas en relación a la materia coloidal presente.

1.2.2 Características químicas

Las características químicas tienden a ser más específicas en su naturaleza que algunos de los parámetros físicos y por eso son más útiles para evaluar las propiedades en una muestra de inmediato. Tratan generalmente acerca de la materia orgánica, inorgánica y los gases que se encuentran contenidos en el agua residual.

1. **POTENCIAL HIDRÓGENO (pH).** La intensidad de acidez o alcalinidad de una muestra se mide en la escala de pH, que mide la concentración de iones de hidrógeno presentes, en una escala de 0 - 14, siendo el 7 el valor neutro, ácido por debajo de 7 y alcalino por arriba de 7. El pH controla muchas reacciones químicas y la actividad biológica normal se restringe a una escala bastante estrecha de pH entre 6 y 8. Las aguas muy ácidas o alcalinas son indeseables debido a que son corrosivas o presentan dificultades en su tratamiento.

2. **POTENCIAL DE ÓXIDO-REDUCCIÓN.** En cualquier sistema que experimenta oxidación hay un cambio continuo en la relación entre los materiales en la forma reducida y aquellos en la forma oxidada.

3. **ALCALINIDAD.** Es útil en el agua natural y en las aguas residuales porque proporciona un amortiguamiento para resistir los cambios en el pH.

4. **DUREZA.** Es la propiedad del agua que evita que el jabón haga espuma y produce incrustaciones en los sistemas de agua caliente. No representa riesgo para la salud, pero las desventajas económicas del agua dura incluyen un consumo excesivo de jabón y costos más altos de combustible.

5. **OXÍGENO DISUELTO (OD).** El oxígeno es poco soluble en el agua y es un elemento esencial para la respiración aerobia de los microorganismos y de otras formas de vida.

6. MATERIA ORGÁNICA. El objetivo más importante del tratamiento de aguas residuales urbanas es la eliminación de la materia orgánica. Cuando se vierte directamente al ambiente el agua residual sin tratar, la materia orgánica que ésta contiene es responsable de la degradación que se aprecia en las corrientes de aguas receptoras. Esta materia puede tener origen vegetal o animal y normalmente se aporta al agua como productos de desecho de la actividad humana.

7. DEMANDA DE OXÍGENO. La indicación del contenido orgánico de un desecho se obtiene al medir la cantidad de oxígeno que se requiere para su estabilización.

a) **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).** Mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos mientras descomponen la materia orgánica.

b) **Valor de permanganato (VP).** Es la oxidación química que usa una solución de permanganato de potasio.

c) **Demanda Química de Oxígeno (DQO).** La oxidación química que usa una mezcla hirviendo de dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado.

8. NUTRIENTES. Se llaman así las especies químicas utilizadas como alimento en el desarrollo de los microorganismos. Aunque los nutrientes abarcan un gran número de especies que los microorganismos necesitan en poca cantidad, el nombre se utiliza casi siempre para indicar a las distintas formas de nitrógeno y fósforo, que son las que se necesitan en mayores cantidades.

a) **Nitrógeno.** El nitrógeno se encuentra presente en el agua residual en forma orgánica, y en forma inorgánica como amoníaco, nitritos y nitratos.

b) **Fósforo.** También se encuentra en el agua residual en forma orgánica e inorgánica. Entre las formas inorgánicas la más importante es el fósforo soluble (ortofosfatos), que resulta directamente utilizable por los microorganismos.

c) **Azufre.** Está presente en el agua residual en forma orgánica y en forma inorgánica como sulfatos, sulfitos y sulfuros. Los compuestos de azufre son responsables de muchos de los olores desagradables que se producen cuando el agua residual está en condiciones anaerobias.

9. **METALES.** Es necesario determinar su presencia, ya que hay muchos que son nocivos y es necesario removerlos del agua residual. Los principales son: arsénico, cadmio, cianuro, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc.

1.2.3 Características biológicas

El agua residual urbana contiene microorganismos de muchas clases, algunos de ellos muy perjudiciales para la salud por ser causantes de enfermedades. Los tipos de microorganismos más abundantes en el agua residual son bacterias, protozoos y virus.

a) **Bacterias.** Son microorganismos unicelulares que se multiplican por escisión celular, es decir, dividiéndose en dos partes. Según cuál sea su fuente de alimentación, las bacterias pueden ser autótrofas (pueden crecer en medios completamente inorgánicos) o heterótrofas (dependen de compuestos orgánicos para alimentarse).

Otra importante distinción entre bacterias viene dada por su necesidad de oxígeno disuelto. Se llaman bacterias anaerobias aquellas que no pueden vivir en presencia de oxígeno, y las bacterias aerobias a las que no pueden vivir en ausencia de oxígeno. Por último, las bacterias facultativas son las que se adaptan a la presencia o ausencia de oxígeno, y viven tanto en medio aerobio como anaerobio.

Entre las bacterias presentes en el agua residual urbana, aquellas a las que hay que prestar mayor atención son las bacterias patógenas o causantes de enfermedades. Las enfermedades más frecuentes ocasionadas por estas bacterias son el cólera, disentería y el tifus, entre otras.

Dado que el tiempo y esfuerzo necesario para identificar cada una de las especies bacterianas presentes en el agua residual es muy elevado, normalmente se determinan otras especies no patógenas, fáciles de identificar, y que dan una idea de la importancia de la contaminación fecal del agua residual. Entre las bacterias que suelen utilizarse son los coliformes totales, fecales y estreptococos fecales.

b) Protozoos. Son microorganismos unicelulares que se consideran la base del reino animal. Algunos de los protozoos presentes en el agua residual son patógenos, como la ameba que provoca la disentería. Los protozoos pueden resultar útiles en el tratamiento del agua residual, ya que se alimentan de bacterias y contribuyen así a la purificación del efluente.

c) Virus. Son la forma de vida más simple que se conoce. Son parásitos obligados, lo que quiere decir que dependen de otros seres vivos, a los que infectan y utilizan para su reproducción. Muchos de ellos provocan enfermedades en el hombre entre ellas la poliomielitis y hepatitis. Estas enfermedades pueden transmitirse por medio del agua.

1.2.4 Composición de las aguas residuales

La composición del agua residual indica su contenido de los distintos constituyentes que se han descrito. Cuanto más completos son los análisis efectuados sobre una muestra de agua residual, más fácil resulta proyectar la planta de tratamiento y anticipar posibles problemas derivados de la composición del agua residual a tratar. En la tabla 1.1 aparecen los intervalos típicos de concentración de los principales constituyentes de las aguas residuales urbanas.

Tabla 1.1 Composición típica del agua residual doméstica antes del tratamiento.

CONTAMINANTES	UNIDADES	CONCENTRACION		
		Débil	Mediana	Fuerte
Sólidos totales (ST)	mg/l	350	720	1200
Disueltos totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Sólidos sedimentables	mg/l	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno 5 días, 20 °C	mg/l	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/l	80	160	290
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	250	500	1000
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoniaco libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo (total en la forma P)	mg/l	4	8	15
Orgánico	mg/l	1	3	5
Inorgánico	mg/l	3	5	10
Cloruros ^a	mg/l	30	50	100
Sulfato ^a	mg/l	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/l	50	100	200
Grasas	mg/l	50	100	150
Coliformes totales	no./100 ml	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁷ - 10 ⁹
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	µg/l	< 100	100 - 400	> 400

Fuente: Adoptado de Metcalf and Eddy, Vol. I 1996.

^a Los valores deben de aumentar en la cantidad en que estos compuestos se hallen presentes en las aguas de suministro

Las técnicas analíticas utilizadas para la determinación de la concentración de cada una de estas variables se describen en el ANEXO A.

1.3 Aguas residuales industriales

Aunque el agua residual de origen industrial debe separarse de la de origen urbano y tratarse en otras instalaciones, en ocasiones se produce su mezcla en el alcantarillado y acaba incorporándose a la alimentación de la planta de tratamiento, provocando estos vertidos daños perjudiciales en su funcionamiento.

Estas aguas de origen industrial, contienen compuestos tóxicos que impiden el crecimiento de los organismos responsables del tratamiento; entre los constituyentes de estas aguas residuales que resultan más peligrosos para cualquier tratamiento y en general para la salud pública, destacan los metales pesados (cobre, níquel, plomo, cromo, cadmio, etc) y cianuros. Por este motivo están limitados por las normas oficiales mexicanas NOM-001-ECOL-1996 y NOM-002-ECOL-1996.

Por tanto, estos vertidos nunca deben incorporarse a la red de alcantarillado sin un tratamiento previo. Cuando no existe este tratamiento, hay que evitar su llegada a la planta de tratamiento, ya sea mediante una red separativa que recoja los vertidos industriales sin mezclarlos con los urbanos, o bien, mediante la instalación de un by-pass a la entrada de la planta de tratamiento.

1.4 Muestreo de las aguas residuales

Cuando se diseña un programa de muestreo es importante tener en mente que no existen procedimientos universales de muestreo, sino que cada programa, debe diseñarse específicamente para cada situación, por lo que es fundamental que se especifique claramente:

1. Su objetivo.- Por ejemplo, estimar las concentraciones máximas o mínimas, detectar cambios o tendencias, estimar porcentajes o tener una base para cobrar por descarga de cada efluente.
2. Un nivel práctico y aceptable en las variaciones de los resultados con base en el uso deseado y tomando en cuenta los recursos disponibles para la toma de muestras y el análisis.

Una muestra aislada es útil cuando se busca conocer si se cumple con ciertos límites particulares. Sin embargo, debido a que las aguas residuales son muy variables en calidad y cantidad, para obtener un valor representativo de la naturaleza de la fuente es necesario analizar una muestra formada por muestras tomadas a intervalos durante cierto periodo y en proporción al caudal, para integrar así una muestra compuesta.

En la tabla 1.2 se presentan las características de los dos tipos de muestras expuestas y en el ANEXO B se presenta la forma de integrar una muestra simple y una muestra compuesta, según la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.

Tabla 1.2 Características de los tipos de muestras de aguas residuales

TIPO DE MUESTRA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Muestra instantánea	Proporcionan concentraciones puntuales del efecto de una sustancia sobre las aguas residuales. Son típicas de tomar y analizar.	No son representativas de las características de las aguas residuales ya que sólo reflejan las condiciones en el momento de muestreo.
Muestra compuesta	Indican las características de las aguas residuales durante cierto periodo de tiempo. Eliminan los efectos de los cambios intermitentes de gasto y concentración.	Se requiere mayor tiempo.

Fuente: Adaptado de Tebbut (1997) y del Departamento de Sanidad de N.Y. (1990).

El muestreo de agua residual de origen industrial puede ser más complicado, ya que con frecuencia son intermitentes, por lo que es importante que se entienda el tipo de proceso que produce la descarga para poder efectuar un programa de muestreo apropiado y obtener la caracterización real del agua.

Se recomienda localizar los puntos de recolección de muestras, ya sea en lugares donde el agua esté bien mezclada (flujo turbulento); no existan partículas mayores de 6 mm, sedimentos o materia flotante, y se asegure la obtención de muestra durante el desarrollo del programa de muestreo.

En forma ideal, todos los análisis se deben practicar después de recolectar las muestras, ya que entre más rápido se hagan, es más probable que los resultados sean una evaluación real de la naturaleza del líquido del sitio muestreado.

Capítulo II

***Conceptos básicos
sobre tratamiento de
aguas residuales.***

Capítulo II

Una planta de tratamiento para aguas residuales municipales puede definirse como:

" El conjunto de obras o estructuras con sus equipos y dispositivos hidráulicos, mecánicos, eléctricos o de otros tipos, en donde las aguas residuales se someten a diversas operaciones y/o procesos unitarios con el fin de mejorar su calidad para reutilizarlas o descargarlas al ambiente con un cierto grado de calidad. "

2.1 Objetivos

El propósito del tratamiento de las aguas residuales es la remoción de sustancias contaminantes a través de tres objetivos principales:

- Resguardar la salud humana.
- Controlar la contaminación del agua para dar cumplimiento a la legislación vigente y evitar efectos negativos en la calidad de los cuerpos de agua receptores.
- Reusar el agua tratada en aquellas aplicaciones en la que no se requiere agua de calidad potable, como en la industria, agricultura, acuicultura, etc.

Una vez establecidos los objetivos del tratamiento para un proyecto específico, el grado de tratamiento puede determinarse comparando las características de las aguas residuales crudas con los requisitos de calidad del efluente.

2.2 Normatividad

En México, el código sanitario de los Estados Unidos Mexicanos del año de 1955 ya contemplaba el problema de la contaminación de las aguas, con el objeto de proteger la salud de los habitantes de nuestro país.

Posteriormente, la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA) logra en 1972 que se promulgara la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación; con base en esta ley se expidió el " Reglamento para Prevenir y Controlar la Contaminación de las Aguas", el que actualmente sigue vigente con algunas modificaciones, como parte de la actual Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente que es junto con la Ley de Aguas Nacionales las que actualmente rigen la política ambiental.

Jerarquía de leyes

La normatividad se inicia en nuestra carta magna, la constitución política de los Estados Unidos Mexicanos, que en sus artículos 4º. (protección de la salud), 27 (propiedad, cuidado y conservación de las aguas y recursos naturales) y 73 fracción XVI (consejo de salubridad general) norma la política ambiental a seguir para proteger la salud y el ambiente; además, en su artículo 115 da la responsabilidad a los municipios del manejo de las aguas residuales en las poblaciones.

De los anteriores artículos se deriva la Ley de Aguas Nacionales (por ser propiedad de la nación) y Leyes Generales (en lo que respecta a la salud y al ambiente), donde además de la federación, participan los estados y los municipios.

Las leyes dan origen a los reglamentos, así tenemos; el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales y el Reglamento de la Ley General de Salud en materia de control de actividades, establecimientos, productos y servicios.

De los reglamentos surgen las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), que establecen las características de las descargas a los cuerpos receptores y donde se determinan las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua .

- ◆ Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1997, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de Enero de 1997 (aclaración publicada en el D.O.F. el 30 de Abril de 1997), ésta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes Nacionales.
- ◆ Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de Junio 1998, y que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado.
- ◆ Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECO-1997, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de Enero 1998, y que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales tratadas que sé reusan en servicios públicos.

Además, se tienen las Normas Mexicanas, que aunque no son obligatorias, si sirven como guías que uniformizan acciones.

2.3 Niveles de tratamiento

El agua residual sin tratamiento previo no puede ser utilizada prácticamente para ningún uso, por lo que dependiendo del uso posterior, se deben llevar a cabo distintas operaciones de tratamiento de manera secuencial.

Los niveles de tratamiento se clasifican en los siguientes grupos:

a) Tratamiento preliminar: remoción del material grueso mediante su cribado o desmenuzado, así como de arenas, grasas o ambas.

b) Tratamiento primario: permite remover mediante sedimentación, sólidos orgánicos e inorgánicos; incluye también la remoción de natas o grasas flotantes y la espumación, cuando es necesario.

c) Tratamiento secundario: se refiere al tratamiento biológico, en el cual la materia orgánica, al servir de alimento a una masa biológica, se convierte en materia removible por sedimentación secundaria.

d) Tratamiento avanzado o terciario: corresponde al conjunto de procesos físicos y químicos para remover contaminantes remanentes en un agua tratada a nivel secundario, o bien, aumentar la eficiencia en la remoción de uno o varios parámetros en los niveles primario y secundario.

e) Desinfección y control viral: se aplican al agua tratada a cualquier nivel, para reducir la población de bacterias patógenas y virus.

2.4 Procesos de tratamiento

Para depurar el agua, generalmente es preciso combinar varios tratamientos elementales, cuyas bases pueden ser físicas, químicas o biológicas y cuyo efecto es el de eliminar en primer lugar las materias en suspensión, a continuación las sustancias coloidales y después las sustancias disueltas (minerales u orgánicas). Por último deben corregirse ciertas características.

En cada etapa y dependiendo de los objetivos que se pretenda alcanzar, pueden aplicarse diversos principios. En la tabla 2.1 se presentan los procesos y operaciones unitarias de tratamiento, usados para remover los principales contaminantes.

Tabla 2.1 Procesos y operaciones de tratamiento

CONTAMINANTES	UNIDAD, PROCESO O SISTEMA DE TRATAMIENTO
Sólidos suspendidos	<ul style="list-style-type: none"> - Cribado y desmenuzado - Sedimentación - Flotación - Filtración - Coagulación - sedimentación
Orgánicos biodegradables	<ul style="list-style-type: none"> - Lodos activados - Filtro percolador - Discos biológicos - Lagunas aereadas - Lagunas de oxidación - Físico - químico
Patógenos	<ul style="list-style-type: none"> - Cloración - Ozonación
Nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> - Nitrificación y desnitrificación - Arrastre con amoníaco - Intercambio iónico - Cloración en el punto de quiebre
Fósforo	<ul style="list-style-type: none"> - Coagulación-sedimentación con sales metálicas - Coagulación-sedimentación con cal
Orgánicos refractarios	<ul style="list-style-type: none"> - Adsorción con carbón activado - Ozonación
Metales pesados	<ul style="list-style-type: none"> - Precipitación química - Intercambio iónico
Sólidos inorgánicos disueltos	<ul style="list-style-type: none"> - Intercambio iónico - Osmosis inversa - Electrodialisis

Fuente: Apuntes de tratamiento de aguas residuales (Facultad de Ingeniería, UNAM)

A continuación se presenta un resumen de las características de los procesos más usuales.

Cribado

Su función es remover sólidos gruesos como papel, trapos, madera, plásticos, ya que si no se eliminan pueden dañar el equipo de bombeo, además de crear serios problemas en el sistema de tratamiento.

Desmenuzado

Su función es reducir el tamaño de los materiales mediante trituración o corte, sin removerlos de las aguas residuales.

Sedimentación

Tiene el propósito de separar partículas suspendidas más pesadas que el agua mediante la acción de la gravedad. El proceso de sedimentación se basa en la diferencia de gravedad específica entre el material sedimentable y el agua.

Flotación

Es un método para hacer subir a la superficie del líquido de un tanque, la materia suspendida en forma de natas de las siguientes formas: por aeración, por la evolución de un gas, por sustancias químicas, electrólisis, calor o descomposición bacteriana y la subsecuente eliminación de la nata por despumación.

Espumación

Se basa en la formación de espumas mediante inyección de aire y recolección superficial, con objeto de remover parcialmente la concentración de detergentes refractarios.

Lagunas de estabilización

En ellas se produce la oxidación biológica de las aguas residuales mediante procesos aerobios, caso en el cual se denominan de oxidación o aerobias; si son aerobias y anaerobias se llaman lagunas facultativas (que serán expuestas en este trabajo) y totalmente anaerobias.

Básicamente, la oxigenación es generada por procesos fotosintéticos de algas microscópicas bajo la acción solar, este proceso es sensible a la temperatura, la relación precipitación- evaporación, la insolación y la velocidad del viento,

En su diseño debe cuidarse que el tiempo de retención de unos 30 días, no se vea perjudicado por la ocurrencia de cortos circuitos del flujo. Normalmente tiene tirantes de 1 a 1.5 metros.

Lodos activados

Se basa en la formación de un sistema biológico, en el cual los sólidos orgánicos contenidos en las aguas residuales sirven de alimento a una masa microbiana en un medio suspendido y provisto de oxigenación adecuada, se complementa con sedimentación secundaria, para la remoción de los sólidos biológicos y la recirculación de una parte de los mismos. Tiene distintas variaciones, como las siguientes:

Flujo pistón. El suministro de aire a lo largo del reactor es variable.

Mezcla completa. Las concentraciones de alimento, microorganismos y aire son uniformes en el reactor de aeración.

Aeración por pasos. El influente y el aire son introducidos al reactor en distintos puntos del proceso.

Oxigenación con oxígeno puro. Permite el ingreso de mayores cargas o la disminución del tiempo de retención.

Aeración extendida. Se diseña con mayores tiempos de retención hidráulica y opera con altas concentraciones de sólidos en una mezcla completa, produciendo un efluente nitrificado y lodos más estables.

Zanjas de oxidación. Representan una variación del sistema de aeración extendida, con agitación mecánica y oxigenación por difusión.

Los sistemas de aeración extendida resisten mayores fluctuaciones en la carga orgánica o hidráulica, son de fácil operación y producen lodos mineralizados, aunque pueden tener alto consumo de energía. En todos los procesos de lodos activados la sedimentación eficiente es esencial para un desempeño adecuado del sistema.

Filtros percoladores o rociadores

Es un sistema biológico de medio fijo, en el cual el agua residual se hace percolar a través de un lecho de piedras o elementos plásticos, en la superficie de los cuales se forma una película bacteriana que aprovecha la materia orgánica del influente, se acompaña de un sedimentador secundario, del que pueden hacerse recircular parte del gasto al filtro. El sistema es fácil de operar, es posible atenuar, mediante la recirculación, los choques de carga orgánica influente.

Discos biológicos

Es el segundo sistema usual de medio fijo. Consiste en un sistema rotatorio de discos construidos en material plástico que se encuentra sumergido parcialmente en las aguas residuales, formando una película biológica en su superficie. En este sistema no hay recirculación.

Coagulación-Sedimentación

Consiste en:

- Adición de coagulantes químicos a las aguas residuales para la remoción de contaminantes mediante precipitación.
- Mezclado rápido de los productos químicos con el agua.
- Mezclado lento para permitir la formación de flóculos, y
- Sedimentación sin ninguna mezcla para separar los flóculos formados.

Se emplean como coagulantes cal, sales de aluminio, sales de fierro y polímeros. Es un proceso complicado en su operación y mantenimiento, y depende más del control adecuado del proceso químico que de la calidad del influente.

Nitrificación

Consiste en oxidar el nitrógeno amoniacal a nitrógeno de nitritos, mediante el empleo de procesos de tratamiento biológico en reactores mezclados, con tiempos de retención y manejo de concentraciones de sólidos adecuados o mediante procesos de dos pasos, para remoción de materia carbonácea y de nitrógeno, respectivamente. Requieren, además, mayor control de la calidad del agua influente.

Desnitrificación

Es un proceso en el que el nitrógeno de nitritos es reducido a gas nitrógeno, evitando la oxigenación de la mezcla o incluso, inyectándole metanol como fuente complementaria de carbón.

Adsorción con carbón activado

El agua percola en un medio de carbón activado, en el que la materia orgánica soluble es absorbida en los poros de las partículas de carbón hasta que ésta pierde su capacidad de adsorción, requiere de regeneración o sustitución periódica, no de retrolavado.

Arrastre con amoníaco

Permite la remoción de nitrógeno, en forma de amoníaco gaseoso mediante la agitación de la mezcla en presencia de aire y con valores altos de pH (mayores a 10.5), puede presentar eficiencias bajas a temperaturas bajas y depósitos de carbonato de calcio.

Precipitación química

La eliminación del fósforo del agua residual se puede llevar a cabo por la adición de coagulantes para su precipitación (cal, sales de hierro, polímeros orgánicos). Adicionalmente a la eliminación del fósforo estos compuestos químicos pueden eliminar otros iones, principalmente, los metales pesados.

Intercambio iónico

Es un proceso a través del cual iones de una clase dada son desplazados de un material de intercambio insoluble por iones en solución, de una clase diferente a los primeros. Requiere de la regeneración periódica de la capacidad de intercambio del material, por ejemplo, resina.

Cloración a punto de quiebre

Consiste en la dosificación de cloro para oxidar la materia orgánica nitrogenada hasta lograr mantener cloro residual libre. Se aplica como complemento a otros sistemas de remoción de contaminantes orgánicos y nutrientes.

Osmosis inversa

Consiste en la inversión del proceso de ósmosis mediante la aplicación de presión en el lado de mayor concentración de sales, puede presentarse taponamiento de la membrana, por lo que se utiliza para efluentes con alto grado de tratamiento previo.

Electrodíálisis

Los componentes iónicos de una solución son separados por el uso de membranas semipermeables selectivas de iones. La aplicación de un potencial eléctrico entre los dos electrodos causa una corriente eléctrica que atraviesa la solución, la cual, a su vez, origina una migración de cationes hacia el electrodo negativo y de aniones hacia el electrodo positivo. Dado el espaciado alternado de las membranas permeables a los cationes y aniones, se forman células de sales concentradas y diluidas.

Cloración

Se utiliza cloro como oxidante para desinfectar las aguas residuales tratadas, monitoreando el cloro residual para controlar la dosificación. Su eficiencia depende de diversos factores.

Ozonación

Se utiliza ozono como oxidante para remover virus, bacterias y otros organismos patógenos, así como olor, color y sabor del agua tratada, presenta eficiencia y confiabilidad altas, aunque no tiene capacidad residual para protección de los efluentes.

La selección de una operación o proceso, o una combinación de ambos, dependerá de:

- a) El uso a que se destinará el efluente tratado.
- b) La naturaleza del agua residual.
- c) La compatibilidad de las distintas operaciones y procesos.
- d) Los medios disponibles para la evacuación de los contaminantes finales.
- e) Posibilidad económica de las distintas combinaciones.

Capítulo III

***Generalidades de los
procesos biológicos.***

Capítulo III

El tratamiento biológico de las aguas residuales, tiene como finalidad remover la materia orgánica en estado coloidal y disuelta, la cual no fue removida con el tratamiento primario, así como, estabilizar dicha materia.

En forma general, el tratamiento biológico se lleva a cabo por la transferencia de la materia orgánica hacia la película o flóculo también llamado "FLOC" (biomasa), por contacto interfacial, adsorción y absorciones asociadas. La materia orgánica es utilizada por los microorganismos para su metabolismo y generación de células nuevas, las células viejas mueren, deslavándose y precipitándose al fondo.

La eficiencia de los procesos biológicos depende de las características de las aguas residuales, condiciones ambientales del sistema y tipo de microorganismos.

3.1 Antecedentes históricos del tratamiento biológico

El desarrollo de los tratamientos biológicos principió como una práctica agrícola en las granjas de aguas negras, en donde los sistemas urbanos de drenaje, servían para irrigar y enriquecer los suelos.

El tratamiento de aguas residuales continuó en los suelos arenosos de Nueva Inglaterra, con el método denominado filtración intermitente a través de arena; se intensificaron las dosificaciones además de mejorarse el funcionamiento mediante el pretratamiento de las aguas residuales.

Debido a los suelos compactos que existían en Inglaterra, se tuvieron que desarrollar lechos de pizarra dispuestos sobre ladrillos que, después, se mejoraron con escoria o piedra fragmentada. Estos lechos estaban adaptados para ser colonizados por grandes poblaciones microbianas que, al alimentarse, removían de las aguas residuales los sólidos sedimentables y disueltos además de los compuestos orgánicos putrescibles.

Posteriormente, la carga efectiva y el rendimiento de los lechos que en un principio se operaban sobre un ciclo de llenado y vaciado seguido de reposo, se vieron incrementados al utilizar boquillas que descargaban las aguas residuales sobre el medio de contacto en corrientes constantes y casi saturadas de oxígeno. Desde entonces ya no se llenaron los lechos, sino que se dejaron abiertos al aire a todo lo largo de su profundidad, de manera que las aguas residuales pudiesen gotear sobre las superficies de contacto hacia el sistema inferior de drenado, mientras el aire barría los lechos y los mantenía de esta forma aerobios. En Inglaterra se denominaron como lechos bacterianos y posteriormente como filtros percoladores, mientras que en los Estados Unidos de América se llamaron filtros rociadores.

Después de cierto tiempo de investigación, se comenzaron a construir las unidades de lodos activados, en las que se proporcionaba aire a las aguas residuales y a los flóculos microbianos, no muy diferentes de las películas de lechos bacterianos, con el propósito de mantener aerobias las unidades, a pesar de la alta cantidad de microorganismos que ahí se encuentran y mantener los flóculos en suspensión, sin tener un medio de contacto fijo.

Otro gran avance consistió en usar materiales sólidos de contacto junto con la aireación para formar los aireadores de contacto sumergidos o lechos aireados de contacto. Consiste en conjuntos verticales de hojas, ya sea de plástico o de asbesto-cemento barridas por chorros de aire que ascendían por los pasos que quedaban entre los materiales de contacto, colonizados por crecimientos superficiales microbianos.

Las primeras lagunas de estabilización fueron en realidad embalses contruidos como sistemas reguladores de agua para riego. En estos embalses se almacenaban los excedentes de agua residual utilizada en riego directo, sin tratamiento previo.

En el curso de este almacenamiento se observó que la calidad del agua mejoraba substancialmente, por lo que empezó a estudiarse la posibilidad de utilizar las lagunas como método de tratamiento de aguas residuales.

El primer embalse en el que se realizaron estudios de este tipo fue el llamado Lago Michell, situado en la ciudad de San Antonio (Texas, Estados Unidos), a principios de este siglo.

3.2 Principales procesos biológicos

Los objetivos principales del tratamiento biológico en las aguas residuales son coagular y remover los coloides no sedimentables, así como degradar la materia orgánica en elementos o compuestos más simples. Estos objetivos varían dependiendo del uso que se le pretenda dar al agua tratada. Para conseguir esto es necesario la intervención de microorganismos, principalmente de bacterias aunque intervienen otros como hongos, protozoarios, rotíferos y a veces nemátodos.

Estos microorganismos realizan su proceso de crecimiento y reproducción tomando de la materia orgánica los nutrientes que necesita para realizar sus funciones de acuerdo a su metabolismo.

Cuando un organismo necesita de la presencia de oxígeno para realizar su función respiratoria y de esta manera obtener la energía para complementar sus funciones, se les conoce como organismos aerobios.

En cambio, hay otros organismos que generan energía por medio de la fermentación y que sólo pueden existir en un medio carente de oxígeno, estos organismos son conocidos como anaerobios.

Los organismos designados como facultativos son aquellos que son capaces de cambiar su metabolismo de fermentativo a respiratorio dependiendo de la presencia o ausencia de oxígeno molecular.

Los procesos biológicos se clasifican de acuerdo al medio en el que crecen las colonias de microorganismos

Los procesos en que los microorganismos se mantienen en suspensión en el líquido que los contiene son conocidos como sistemas de cultivo suspendido.

Los procesos en que las colonias de microorganismos están adheridas a un medio inerte como rocas, escoria, materiales plásticos o cerámicos especialmente diseñados, se designan como sistemas de biomasa adherida.

La tabla 3.1 muestra los principales procesos biológicos que se utilizan para el tratamiento de aguas residuales. Es conveniente advertir que este trabajo sólo se refiere al proceso biológico por medio de lagunas facultativas.

Tabla 3.1 Principales procesos biológicos.

TIPO	NOMBRE COMÚN	USO
PROCESOS AEROBIOS		
Sistemas de cultivo suspendido	Proceso de lodos activados - Convencional (flujo pistón) - Completamente mezclado - Aireación graduada - Oxígeno puro - Reactor de lote secuencial - Contacto y estabilización - Aireación modificada - Aireación extendida - Zanjas de oxidación - Tanque profundo (90 ft) - Pozo profundo	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
	Nitrificación de cultivos en suspensión	Nitrificación
	Lagunas aireadas	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
	Digestión aerobia - Aire convencional - Oxígeno puro	Estabilización y eliminación de la DBO carbonosa
Sistemas de biomasa adherida	Filtros percoladores - Baja carga - Alta carga	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
	Filtros de pretratamiento	Estabilización y eliminación de la DBO carbonosa
	Sistemas biológicos rotativos de contacto o biodiscos	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
	Reactores de lecho empacado	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)

Tabla 3.1 Principales procesos biológicos (continuación)

TIPO	NOMBRE COMÚN	USO
PROCESOS COMBINADOS	Procesos de biofiltros activados - Proceso de filtros percoladores por contacto de sólidos - Proceso de biofiltrado en lodos activados - Proceso de filtros percoladores en serie en lodos activados	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
PROCESOS ANÓXICOS		
CULTIVO EN SUSPENSIÓN	Desnitrificación con cultivo en suspensión	Desnitrificación
CULTIVO FIJO	Desnitrificación con cultivo fijo	Desnitrificación
PROCESOS ANAEROBIOS		
CULTIVO EN SUSPENSIÓN	Digestión anaerobia - Baja carga, una etapa - Alta carga, una etapa - Doble etapa	Estabilización y eliminación de la DBO carbonosa
	Proceso anaerobio de contacto	Eliminación de la DBO carbonosa
	Manto de lodos anaerobios en flujo ascendente	Eliminación de la DBO carbonosa
CULTIVO FIJO	Filtro anaerobio	Eliminación de la DBO carbonosa, estabilización de desechos (desnitrificación)
	Cama expandida	Eliminación de la DBO carbonosa, estabilización de desechos
COMBINACIÓN DE PROCESOS AEROBIOS, ANÓXICOS Y ANAEROBIOS		
CULTIVO SUSPENDIDO	Fase única o de múltiples etapas, varios procesos registrados	Eliminación de la DBO carbonosa, nitrificación, desnitrificación, y eliminación de fósforo
CRECIMIENTO VINCULADO (Suspendido y fijo)	Una o varias etapas	Eliminación de la DBO carbonosa, nitrificación, desnitrificación, y eliminación de fósforo

Tabla 3.1 Principales procesos biológicos (continuación)

TIPO	NOMBRE COMUN	USO
PROCESOS DE LAGUNAS	Lagunas aerobias	Eliminación de la DBO carbonosa
	Lagunas de maduración (terciaria)	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
	Lagunas facultativas	Eliminación de la DBO carbonosa
	Lagunas anaerobias	Eliminación de la DBO carbonosa (estabilización de desechos)

Fuente: Adoptado de Metcalf and Eddy. Vol. I 1996

3.3 Aspectos generales de las lagunas de estabilización

El tratamiento por lagunaje de aguas residuales consiste en su almacenamiento durante un tiempo variable en función de la carga aplicada y las condiciones climáticas, de forma que la materia orgánica resulte degradada mediante la actividad de bacterias heterótrofas presentes en el medio. Puesto que en la depuración por lagunaje no interviene para nada la acción del hombre, quien se limita a proporcionar un emplazamiento adecuado para las lagunas, el lagunaje es un método biológico natural de tratamiento, basado en los mismos principios por los que tiene lugar la autodepuración en ríos y lagos.

Dado que la presencia de oxígeno disuelto en las lagunas de estabilización determina el tipo de mecanismo que va a ser responsable de la depuración, los estanques de estabilización suelen clasificarse en aerobios, anaerobios y facultativos. Además de esta clasificación básica, también se utilizan otras relacionadas con sus características físicas, tales como la profundidad. Ambas clasificaciones están relacionadas, ya que las fuentes de oxígeno disuelto en lagunas son fenómenos de superficie.

Las fuentes de oxígeno son la actividad de las algas microscópicas y la reaireación a través de la interfase aire-agua. En el capítulo cinco se explicarán las características de las lagunas facultativas.

3.4 Ventajas e inconvenientes del tratamiento del agua residual por lagunaje

Cuando se decide qué método de tratamiento resulta indicado para una comunidad, el proyectista debe tener en cuenta una serie de criterios que le permitan analizar sistemáticamente los pros y contras de las alternativas que se le presentan. Los criterios listados en la tabla 3.2 son fundamentales para la toma de decisión en la gestión de aguas residuales.

Tabla 3.2 Criterios para la elección de métodos de depuración de aguas residuales

Salud Pública

- Valores admisibles de vertidos recogidos en la legislación.

Reutilización

- Irrigación.
- Acuicultura.
- Recarga de acuíferos.

Consideraciones medioambientales

- Eutroficación en aguas receptoras.
- Contaminación de playas.
- Impactos en flora y fauna.

Molestias a la población

- Ruidos.
- Olores.
- Insectos.

Facilidad de operación

- Necesidad de personal calificado.
- Mantenimiento de equipos.
- Flexibilidad de tratamiento.

Tabla 3.2 Criterios para la elección de métodos de depuración de aguas residuales (continuación)

Costos

- **Instalación de la planta.**
- **Mantenimiento.**
- **Costos energéticos.**

1. Salud pública. El método de tratamiento debe asegurar un nivel adecuado de microorganismos patógenos en el efluente.
2. Reutilización. El agua residual tratada debe ser potencialmente utilizable en actividades como irrigación o acuicultura.
3. Medio ambiente. En aquellos casos en los que el vertido final deba hacerse a un cauce público, el tratamiento elegido debe garantizar que el medio natural afectado no va a degradarse como respuesta a este vertido. Es decir, la carga final en el medio debe ser igual o inferior a la capacidad de autodepuración de los ecosistemas receptores.
4. Molestias a la población. El método de tratamiento debe estar libre de olores, ruidos, desarrollo de insectos, etc., que puedan provocar molestias en la población próxima a la planta,
5. Facilidad operativa. Las necesidades de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento deben satisfacerse por personal disponible a nivel local, evitando en lo posible instalaciones complejas que requieran periodos prolongados de entrenamiento de los operarios.
6. Costos. Tanto los costos de instalación como de mantenimiento han de considerarse en la elección del sistema de tratamiento. Especialmente en lo tocante al mantenimiento, es esencial que los costos derivados del tratamiento no excedan la capacidad de los ayuntamientos u organismos responsables de la gestión de las instalaciones.

Teniendo en cuenta estos criterios, el lagunaje constituye uno de los métodos más adecuados para el tratamiento de aguas residuales urbanas o industriales fácilmente biodegradables. Los principales inconvenientes de las lagunas de estabilización son la presencia de materia en suspensión en el efluente, debida a las altas concentraciones de fitoplancton, y ocupación de terreno, que es superior a la de otros métodos de tratamiento.

Estos inconvenientes resultan despreciables en relación con las ventajas del método cuando el efluente no se habrá de verter en un cauce público donde puede provocar problemas de eutroficación (desarrollo de actividad fitoplanctónica debida a la elevación de los niveles de nutrientes), o en aquellos casos en los que el terreno es abundante y barato. Otro posible inconveniente de esta técnica, cuando el efluente se va a reutilizar en riego, es que se producen pérdidas importantes de agua en verano debido a la evaporación. Aparte de estos factores, el lagunaje presenta una serie de ventajas respecto a otros procedimientos, entre las que destacan las siguientes:

a) La estabilización de la materia orgánica alcanzada es muy elevada. A igualdad de estabilización, ésta se consigue mediante lagunaje a un costo más bajo y con un mínimo de mantenimiento, ya que no se necesitan aportes energéticos o reactivos químicos para llevar a cabo el tratamiento.

b) La eliminación de microorganismos patógenos es muy superior a la alcanzada mediante otros métodos de tratamiento.

c) Las lagunas de estabilización presentan una gran flexibilidad en el tratamiento de puntas de carga y caudal. Este comportamiento se debe a que el tiempo que el agua residual permanece en las lagunas tiende a ser largo (del orden de 20-50 días), por lo que éstas presentan una inercia acusada que les permite aceptar breves períodos de carga orgánica o caudal elevados.

Sin embargo, si esta situación anómala persiste, la capacidad tampón de las lagunas de estabilización se agota, y puede requerirse un tiempo considerable (una semana a un mes, dependiendo de las condiciones climáticas) para que se recupere la marcha normal del tratamiento.

d) El lagunaje puede utilizarse para tratamiento de aguas residuales industriales con altos contenidos de materia biodegradable, tales como los vertidos de centrales lecheras, mataderos y empresas conserveras.

e) El diseño de las lagunas puede ajustarse fácilmente para que el tratamiento se adapte a las necesidades de la población en distintas situaciones.

f) Desde el punto de vista económico, el lagunaje es mucho más barato que los métodos convencionales, con bajos costos de instalación y mantenimiento.

g) El consumo energético de las lagunas de estabilización es nulo, ya que las únicas fuentes de energía que necesita para su funcionamiento son la luz solar y la acción del viento. Sólo en el caso de que el agua residual deba ser bombeada para que alcance la planta es necesario un consumo de energía en este método de tratamiento.

h) La generación de lodos tiene lugar, fundamentalmente, en las lagunas anaerobias, en las que éstos se van acumulando durante un período de tres a cuatro años antes de que sea necesario su vaciado y limpieza. Por tanto, no se generan diariamente lodos que haya que retirar o tratar.

i) En el proceso de lagunaje se genera biomasa potencialmente valorizable una vez separada del efluente. Los posibles subproductos son el fitoplancton, zooplancton, vegetación superior en lagunas con macrofitas y peces.

En la tabla 3.3 se presentan las ventajas e inconvenientes de las lagunas de estabilización explicadas anteriormente.

Tabla 3.3

Ventajas e inconvenientes del lagunaje en relación con los métodos convencionales de depuración

VENTAJAS	INCONVENIENTES
- Elevada estabilización de la materia orgánica	- Elevada ocupación de terreno
- Desinfección del efluente	- Presencia de materia en suspensión (fitoplancton) en el efluente
- Flexibilidad de tratamiento (puntas de carga y caudal)	- Pérdidas considerables de agua por evaporación en verano
- Posibilidad de tratar vertidos industriales fácilmente biodegradables	
- Fácil adaptación a variaciones estacionales	
- Posibilidad de uso como sistemas reguladores para riegos	
- Bajo costo de instalación y muy bajo de operación	
- Nulo consumo energético	
- Generación baja de lodos	
- Biomasa potencialmente aprovechable	

3.5 Tipos de lagunas de estabilización

Se utilizan distintos criterios para la clasificación de los estanques de estabilización. A continuación se presenta una lista con las definiciones de los términos utilizados más a menudo para referirse a los distintos tipos de lagunas.

1. Lagunas anaerobias. La depuración en estas lagunas ocurre por la acción de bacterias anaerobias. En estas lagunas, como consecuencia de la elevada carga orgánica y el corto período de retención del agua residual, el contenido en oxígeno disuelto se mantiene muy bajo o nulo durante todo el año. El objetivo perseguido es de retener la mayor parte posible de los sólidos en suspensión, que pasan a incorporarse a la capa de lodos acumulados en el fondo, y eliminar parte de la carga orgánica.

2. Lagunas facultativas. Estos estanques se caracterizan por poseer una zona aerobia, próxima a la superficie, y una zona anaerobia en el fondo. La extensión relativa de estas dos zonas varía durante el año en función de la carga aplicada y de la eficiencia de los dos mecanismos de adición de oxígeno al medio: la fotosíntesis llevada a cabo por las algas y la reaireación a través de la superficie. La finalidad de estas lagunas es la estabilización de la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionado principalmente por las algas presentes.

3. Lagunas de maduración. También se llaman lagunas de oxidación. En estas lagunas se mantiene un ambiente aerobio en toda su profundidad, lo que se consigue con menores cargas aplicadas, de forma que la fotosíntesis y la reaireación sean suficientes para proporcionar oxígeno disuelto a toda la columna de agua. En las lagunas de maduración se consigue una elevada desinfección del agua tratada, así como la mineralización de los nutrientes orgánicos.

Dado que estos tres tipos de lagunas requieren niveles decrecientes de carga orgánica para funcionar correctamente, las plantas de tratamiento suelen estar constituidas por los tres tipos de estanques operando en serie, es decir, uno después del otro (ver figura 3.1, en la que aparecen algunas posibles combinaciones de lagunas en plantas de tratamiento por lagunaje). De esta forma se alcanza una mayor calidad en el efluente final del sistema.

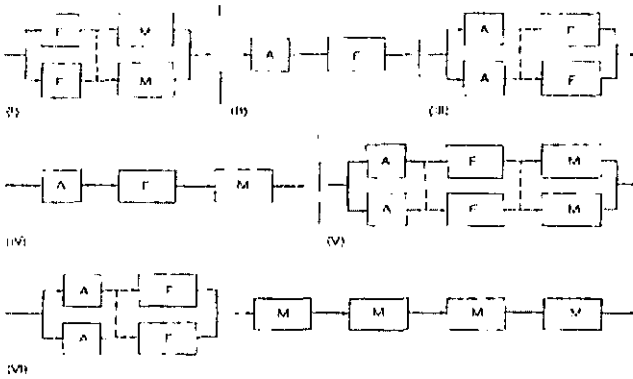


FIGURA 3.1

Representación esquemática de algunas de las disposiciones más comunes en plantas de tratamiento por lagunaje (A = laguna anaeróbica, F = laguna facultativa, M = laguna de maduración)

Otra clasificación utilizada en lagunas de estabilización considera la forma en que se produce la alimentación y descarga del agua residual en la instalación. En función de los patrones de circulación utilizados, se tiene los tipos siguientes:

a) Lagunas continuas. Son aquellas en las que se produce la entrada y salida continua del agua residual y efluente. La mayoría de las lagunas para tratamiento de aguas residuales urbanas funcionan de acuerdo con este principio.

b) Lagunas semicontinuas o de descarga controlada. En este caso las lagunas se llenan con agua residual, que se almacena durante un período prolongado de tiempo, hasta que se inicia su vaciado. Este tipo de diseño se utiliza a menudo en zonas con grandes variaciones estacionales, o cuando la laguna de estabilización se utiliza simultáneamente como sistema regulador de riego.

c) Lagunas de retención total. Este tipo de lagunas se diseña de forma que el agua tratada se pierda por evaporación o infiltración en el terreno, con lo que no se produce su vertido final a un cauce público. Normalmente se trata de lagunas de poca profundidad y gran extensión para facilitar la evaporación del agua almacenada.

Capítulo IV

Pretratamiento.

Capítulo IV

Antes de introducir el agua residual cruda en las lagunas de estabilización es necesario eliminar algunos componentes, en particular sólidos y materia flotante, que podrían dar lugar a problemas de funcionamiento o provocar desperfectos en la obra civil. El conjunto de operaciones tendentes a eliminar estos componentes se llama pretratamiento.

Considerando el diagrama de flujo de una planta de tratamiento a base de lagunas, los elementos del pretratamiento están situados en primer lugar, aguas arriba de las primeras lagunas.

Otra operación que se verifica antes de introducir el agua en las lagunas es la medición del caudal; esta operación no provoca ningún cambio en el agua residual.

A continuación se describen las operaciones de pretratamiento más utilizadas en el tratamiento por lagunaje, todas ellas de naturaleza física.

4.1 Medidores de caudal

Las plantas a base de lagunas deben disponer de un medidor de caudal a la entrada y otro a la salida de la planta.

Estos dos medidores pueden ser del mismo o distintos tipos en cada caso, y su instalación no es imprescindible para el funcionamiento de la planta, a no ser que se produzcan variaciones importantes de caudal en las distintas épocas del año.

Los medidores de caudal más usuales en las plantas de tratamiento por lagunaje son los siguientes:

- Canales Parshall.

- Vertedores.
- Medidores de caudal en líneas de presión.

4.1.1 Canal Parshall

Este sistema es el más utilizado porque su morfología no permite que los sólidos transportados por las aguas residuales se acumulen en alguna de sus partes y además porque tiene la característica de que el caudal es una función lineal de la altura del tirante a la entrada del dispositivo.

Consiste de una garganta de corta longitud y paredes paralelas precedida por una sección convergente y seguida por una sección en expansión. En la sección convergente el piso es horizontal, tiene pendiente descendente en la garganta y está inclinada hacia arriba en la expansión. La figura 4.1 muestra un esquema de un canal Parshall.

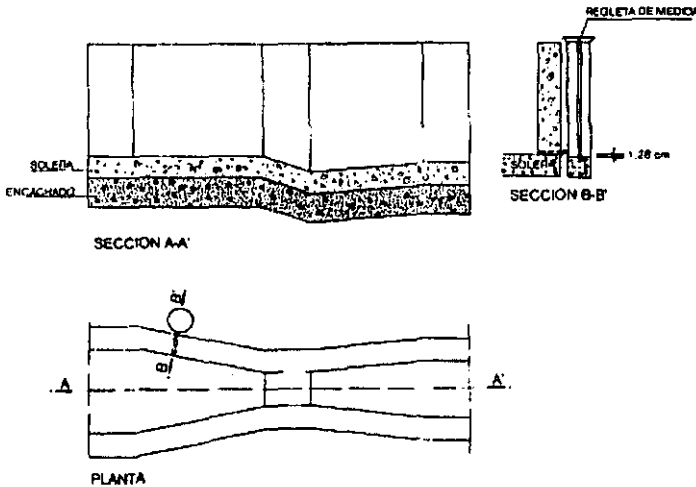


FIGURA 4.1
Esquema de un canal Parshall

El caudal instantáneo se obtiene por aplicación de la fórmula:

$$Q = 0.37 [3.28 H]^{1.567} W^{0.026} \dots\dots\dots (4.1)$$

siendo:

Q = Caudal instantáneo en m^3 / s ;

W = Anchura de la garganta en metros;

H = Tirante del agua en metros, en el punto de observación fijo.

El canal Parshall puede usarse con un grado máximo de sumergencia a la salida sin que se alteren sus condiciones de funcionamiento (operación modular) o con descarga sumergida (operación no modular). Se deben tener dos puntos de medición de carga hidráulica: el punto de medición aguas arriba situado en la sección convergente a una distancia de dos tercios antes de la garganta y el punto de medición aguas abajo situado en el extremo de salida de la garganta de paredes paralelas. Ambas medidas a partir del nivel de plantilla horizontal de sección convergente.

Existen 22 diseños estándar, que cubren un intervalo de caudales desde 0.1 l/s hasta 93 m^3 / s , el intervalo de descarga de cada tamaño estándar, se traslapa con los inmediatos inferior y superior. El ancho de la garganta de paredes paralelas puede variar desde 25.4 mm hasta 15.24 m.

4.1.2 Vertedores

Se le llama vertedor a un dispositivo hidráulico que consiste en una escotadura a través de la cual se hace circular el agua (figura 4.2). Hay diferentes clases de vertedores según la forma que adopte la vena líquida siendo los más comunes: rectangular, trapecial, triangular y circulares.

Los vertedores que se usan para medir descargas o flujos relativamente pequeños son de pared delgada.

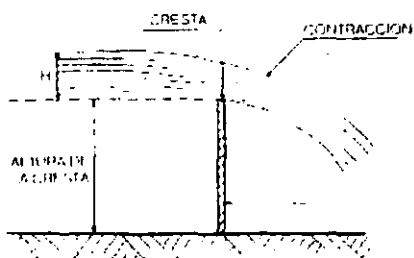


FIGURA 4.2
Esquema de un vertedor

Para conocer el gasto que circula por estos dispositivos se miden los siguientes parámetros:

- **Cresta.** Es la pared horizontal de la escotadura en contacto con el líquido, su longitud se denomina L .
- **Carga.** La carga del vertedor es la altura del chorro de agua desde el nivel de la cresta hasta la superficie, medida a una distancia mínima (d) antes de la cresta, para evitar que la medida esté afectada por el abatimiento del manto sobre la cresta. Esta distancia (d) puede variar entre 0.6 y 1.0 m (de 5 a 10 veces la carga).
- **Carga sobre la cresta.** Es el espesor del chorro medido sobre la cresta en el plano del vertedor. La diferencia entre la carga sobre la cresta y la carga del vertedor tiene un valor aproximado de 31% de la carga del vertedor.

Cuando la longitud de la cresta (L) es relativamente pequeña comparada con el ancho (B) del canal de conducción, la vena del chorro sufre contracciones laterales que no se presentan cuando la longitud de la cresta es igual al ancho del canal.

Las fórmulas para el cálculo de caudales en vertedores tiene origen empírico, en esta ocasión, se presentan algunas de las fórmulas más comunes para calcular el caudal en vertedores.

Vertedor rectangular. En la figura 4.3 se presenta un vertedor rectangular. La fórmula de Francis (1852) para calcular el caudal es la siguiente:

$$Q = \alpha (L - n \beta H) H^{3/2} \text{ en el sistema inglés (4.2)}$$

siendo:

$$\alpha = 3.33$$

$$\beta = 0.1$$

n = número de contracciones (en un lado o en los dos).

L = longitud de la cresta del vertedor.

H = carga del vertedor.

Quando el chorro no tiene contracciones laterales ($n=0$) se tiene:

$$Q = \alpha L H^{3/2} \text{ (4.3)}$$

En el sistema métrico la fórmula general es:

$$Q = 1.84 (L - 0.1n H) H^{3/2} \text{ (4.4)}$$

Quando el chorro no tiene contracciones:

$$Q = 1.84 L H^{3/2} \text{ (4.5)}$$

Otro factor que puede influir en el gasto es la velocidad de llegada (v), lo cual origina un aumento en la carga del vertedor, denominada carga de presión (H_0). La ecuación general del gasto en este caso es la siguiente:

$$Q = 1.84 (L - 0.1n H) (H + H_0)^{3/2} \text{ ... (4.6)}$$

siendo:

$$H_0 = V^2 / 2g$$

Estos problemas se resuelven por tanteos hasta lograr dos resultados consecutivos lo suficientemente próximos para aceptar como buena la solución.

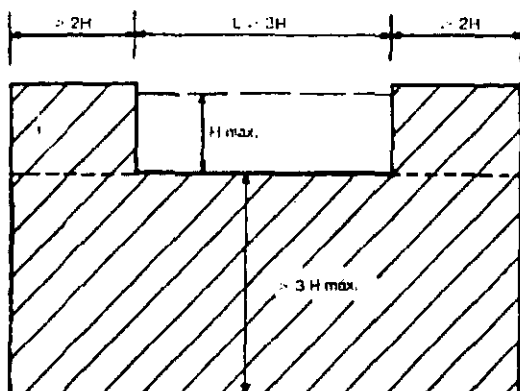


FIGURA 4.3
Dimensiones mínimas de los vertedores con contracción lateral

Vertedor triangular. La figura 4.4 muestra un vertedor triangular de cresta delgada. El caudal para este tipo de vertedor considera los siguientes parámetros:

El ángulo del vertedor es igual a 2Θ .

La carga del vertedor es la distancia del vértice del ángulo hasta la superficie libre del líquido.

En este caso el gasto está dado por la siguiente fórmula:

$$Q = \cotangente \Theta H^{5/2} \dots\dots\dots (4.7)$$

Si el ángulo formado por los lados del vertedor es igual a 90° , se tiene $\tan 45^\circ = 1$ y la fórmula se reduce a:

$$Q = 2.54 H^{5/2} \text{ en el sistema inglés } \dots\dots\dots (4.8)$$

$$Q = 1.40 H^{5/2} \text{ en el sistema métrico } \dots\dots\dots (4.9)$$

Estos vertedores son los más usados y proporcionan un excelente método para medir gastos pequeños. El efecto de la velocidad de llegada es similar a los vertedores rectangulares; sin embargo, se ha comprobado experimentalmente que el error cometido al despreciar la velocidad de llegada es en la mayoría de los casos poco importante.

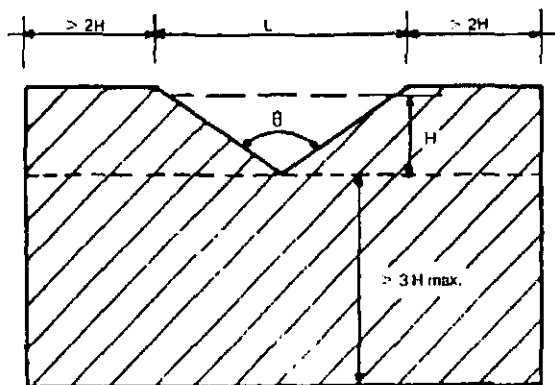


FIGURA 4.4
Vertedor triangular

Vertedor de Cipoletti. Es de forma trapezoidal, se caracteriza porque sus paredes laterales tienen una inclinación tal que sus proyecciones son 1 horizontal por 4 vertical, como se muestra en la figura 4.5. El gasto se calcula por la fórmula:

$$Q = 3.367 L H^{3/2} \text{ en el sistema inglés (4.10)}$$

$$Q = 1.859 L H^{3/2} \text{ en el sistema métrico (4.11)}$$

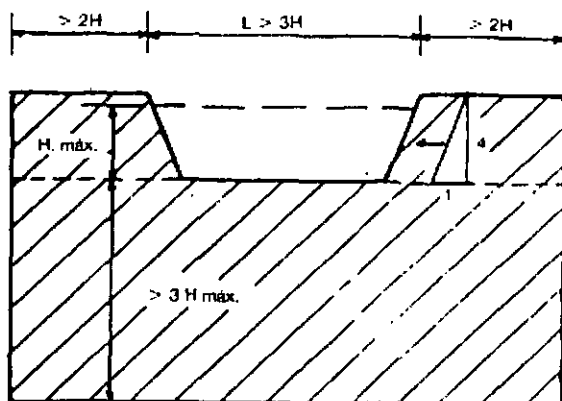


FIGURA 4.5
Vertedor de Cipoletti

4.1.3 Medidores de caudal en líneas a presión

Los métodos usualmente utilizados en la determinación de caudales en tuberías a presión corresponden a los llamados métodos dinámicos, que suponen una aplicación del teorema de Bernoulli entre dos puntos de una tubería, en uno de los cuales se ha creado un estrangulamiento. Según dicho teorema, todo aumento de la velocidad de flujo supone una disminución de la presión, por lo que determinando la presión diferencial se podrá conocer la velocidad y por tanto el caudal. Los dispositivos más empleados son los tubos Venturi.

Este es un sistema preciso para la medida de caudales de líquidos en tuberías. Consta de una parte cilíndrica del mismo diámetro que la tubería (figura 4.6), una parte cónica convergente, con ángulo de 20° que termina en un anillo, otra parte cónica divergente, con ángulo de 4° , y por último otro tramo cilíndrico del mismo diámetro que la tubería.

El aparato debe estar instalado en una tubería horizontal, con una longitud anterior al punto de instalación de 10 veces el diámetro de la tubería, libre de accesorios.

Las características de estos aparatos y sus recomendaciones están normalizadas y son de fácil lectura.

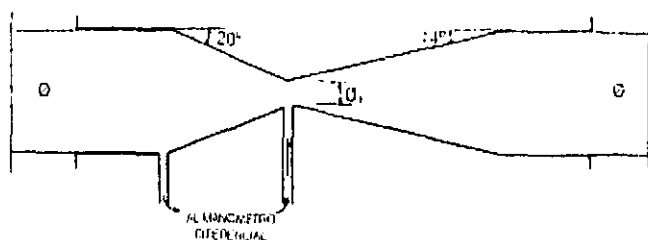


FIGURA 4.6
Tubo Venturi

4.1.4 Aplicaciones

En general, en las plantas a base de lagunas correctamente diseñadas existirá un medidor de caudal tipo Parshall a la entrada (con o sin registrador totalizador) y un vertedor a la salida (en caso de canal) o Venturi (en caso de tubería).

4.2 Desbaste: rejas y tamices

La operación de desbaste consiste en eliminar componentes sólidos del agua residual antes de su tratamiento en las lagunas. La mayoría de las plantas de tratamiento a base de lagunas disponen de rejas para separar los sólidos gruesos y evitar que se acumulen en las lagunas o que produzcan obstrucciones en las conducciones.

Las rejas están formadas por varillas paralelas. Cuando el agua residual pasa a través de estas varillas, los sólidos de mayor tamaño quedan atrapados. Las rejas son especialmente útiles para retener plásticos, papeles, trapos y otros sólidos de gran tamaño.

Las rejas pueden clasificarse de dos formas distintas. En función del tamaño de los sólidos a eliminar, las rejas pueden ser de gruesos o finos. En las primeras, la distancia entre varillas es de 5 a 10 centímetros, mientras que en las segundas esta distancia es de 1.5 a 3 centímetros.

En función de la forma en que se realiza la retirada de los sólidos retenidos, las rejas se clasifican en rejas de limpieza manual y rejas de limpieza automática. Como su nombre indica, en las rejas de limpieza manual debe procederse a retirar los sólidos retenidos utilizando algún utensilio apropiado, como un rastrillo (figura 4.7). Sin embargo, en las rejas de limpieza automática la retirada de los sólidos la llevan a cabo unos rastrillos deslizantes acoplados al mismo dispositivo, que arrastran los sólidos hacia unas bandejas de recogida, donde han de ser finalmente retirados por el operador.

Las rejas pueden limpiarse por su cara anterior o posterior, lo que da lugar a los dos tipos de rejas de limpieza automática que aparecen en la figura 4.8. Tanto las rejas de gruesos como de finos pueden ser de limpieza manual o automática, si bien es frecuentemente que las rejas de gruesos sean de limpieza manual.

A medida que los sólidos van siendo retenidos por las rejas, el agua experimenta una dificultad mayor en atravesar este dispositivo, especialmente en las rejas de finos. La limpieza de las rejas es una operación de mantenimiento de gran importancia, ya que la pérdida de carga aumenta a medida que crece el grado de obturación.

Las rejas se colocan en el canal de aguas residuales, con inclinaciones distintas según se trate de rejas de limpieza manual o automática. En el primer caso, las rejas presentan una inclinación de 30-45° con la vertical, mientras que en el segundo pueden colocarse totalmente verticales o con inclinaciones de hasta 30°.

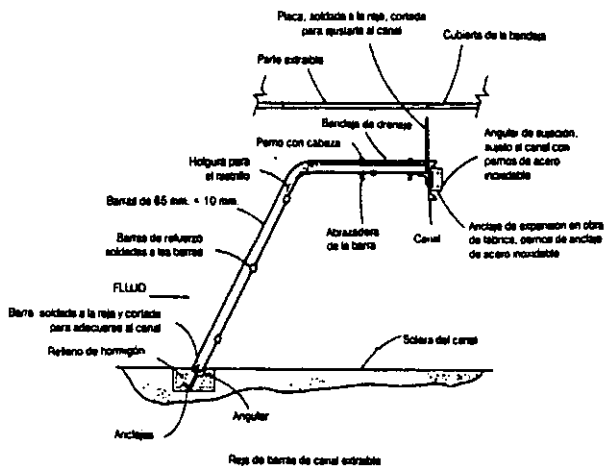
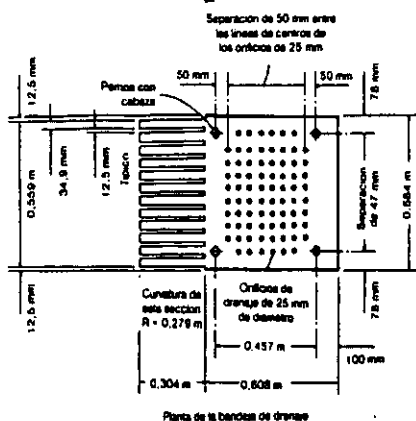


FIGURA 4.7
Rejas de limpieza manual

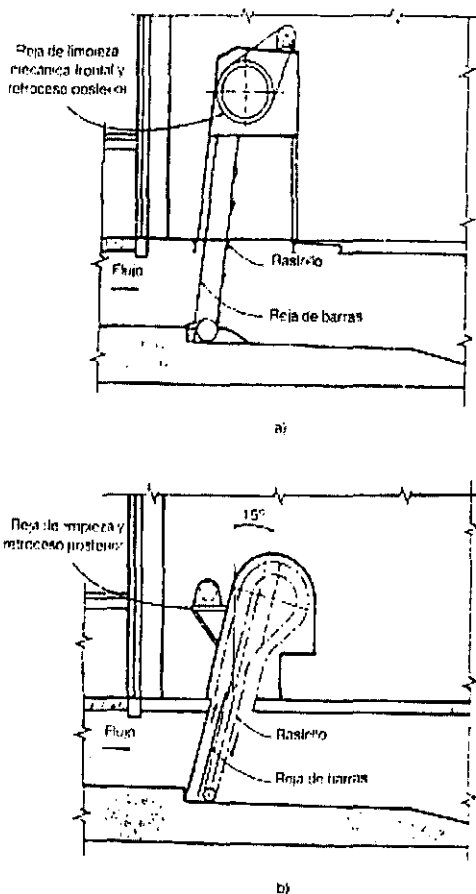


FIGURA 4.8

Rejas de limpieza automática: a) de limpieza frontal y retroceso posterior; b) de limpieza y retroceso posterior

Los tamices se utilizan con mucho menor frecuencia en plantas de tratamiento por lagunaje. El desbaste por tamices se consigue haciendo pasar el agua a través de placas perforadas o malla metálica. La apertura es menor que en las rejas, normalmente inferior a 6 mm. Por tanto, se usan para eliminar sólidos más finos. Los tamices también pueden ser de limpieza manual o automática. En la figura 4.9 se representan algunos de los tipos más frecuentes de tamices.

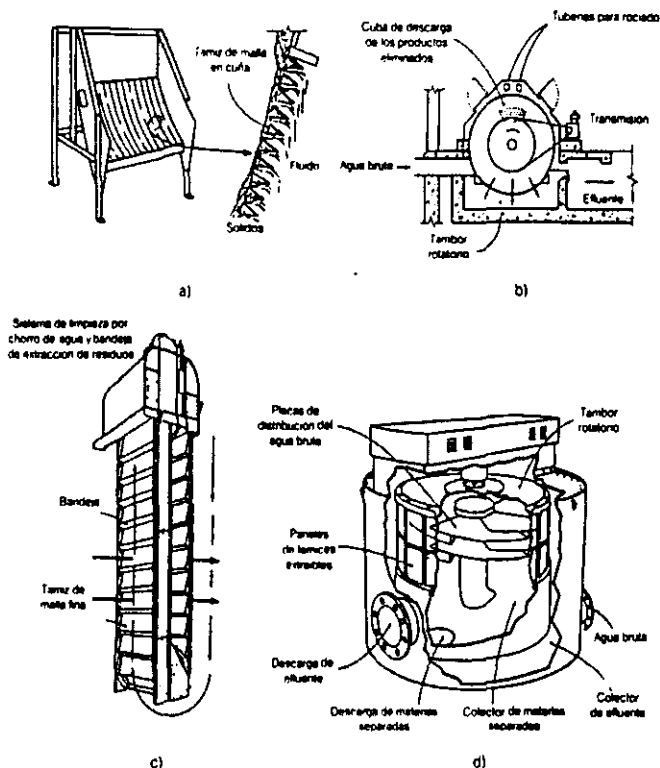


FIGURA 4.9

Tipos de tamices; a) Tamiz fijo inclinado; b) Tamiz de tambor rotatorio; c) Tamiz deslizando y d) Tamiz centrifugo

4.3 Desarenadores

Estos dispositivos tienen como objetivo la separación de arenas, y por extensión, todas aquellas partículas sólidas más pesadas que los sólidos orgánicos. En esta categoría se encuentran sólidos tales como las cáscaras de huevo, trozos de huesos y granzas de café. La presencia de desarenadores no es vital en plantas a base de lagunas, pero sí conveniente al disminuir la velocidad de acumulación y volumen final de los lodos depositados en las lagunas anaerobias.

Como la cantidad de arenas arrastradas por el agua residual depende en gran medida de las características del terreno, y en especial de la proximidad de playas, la instalación de estos dispositivos no suele tener carácter general.

Los desarenadores pueden ser de tres tipos: de flujo horizontal, aireados y tanques de sección cuadrada.

Los desarenadores de flujo horizontal son tanques diseñados de forma que la velocidad del agua se mantenga en el intervalo 0.3 a 0.4 m/s. Esta velocidad se considera el límite a partir del cual se produce también la sedimentación de las partículas orgánicas. Cuando el desarenador se ha diseñado correctamente y la velocidad del agua a su vez está comprendida en el intervalo 0.3 a 0.4 m/s, las partículas de arena sedimentan, pero las partículas orgánicas permanecen en suspensión, e incluso las que hubieran podido sedimentar vuelven a incorporarse a la capa líquida. La longitud del desarenador ha de ser tal que permita la sedimentación de la partícula más ligera de arena, es decir, que ésta alcance el fondo del tanque antes de la salida. Puesto que la velocidad del agua en el desarenador depende de su sección y del caudal, cuando éste varía mucho durante el día o el año es necesario disponer de desarenadores con control de velocidad. En la figura 4.10 se ha recogido un esquema de un desarenador de flujo horizontal con dispositivo de limpieza automático.

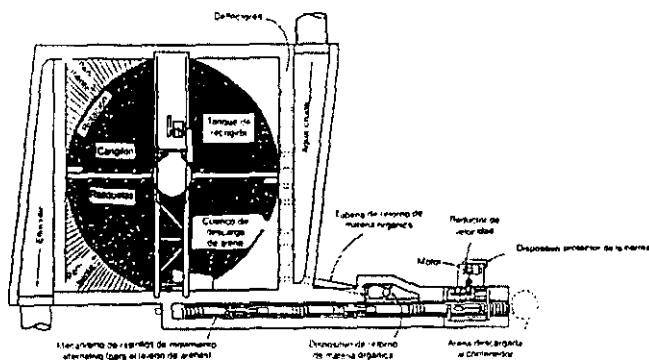


FIGURA 4.10
Desarenador de flujo horizontal

Los desarenadores aireados son tanques en los que el agua presenta un flujo espiral, con control de velocidad mediante la geometría del tanque y la cantidad de aire insuflado. El principio de funcionamiento es el mismo que en los desarenadores de flujo horizontal, es decir, las partículas de carácter inorgánico, más pesadas que las orgánicas, sedimentan en el fondo cuando se mantiene una velocidad adecuada. El control de la operación es más preciso en este tipo de desarenador, por lo que se obtiene una arena más limpia, con menos impurezas orgánicas. La limpieza de los desarenadores aireados suele ser automática.

Los desarenadores de sección cuadrada o tanques de detritus son simplemente tanques de sedimentación en los cuales la arena y los sólidos orgánicos sedimentan en forma conjunta, los sólidos orgánicos se separan posteriormente por medios mecánicos.

4.4 Cámaras de grasa

El objetivo de estos dispositivos es separar las grasas y otros componentes ligeros del agua residual. Para ello se hace pasar el agua residual por un tanque con salida sumergida, de forma que los materiales ligeros flotan y se acumulan en superficie, donde son retirados manual o automáticamente.

Puesto que todos los componentes ligeros permanecen en superficie, con estos dispositivos no sólo se separan grasas, sino también papeles, plásticos, maderas, espumas y residuos vegetales. La presencia de esta unidad del pretratamiento es aconsejable en lagunas de estabilización, ya que las grasas son muy perjudiciales para la marcha del tratamiento al dificultar la iluminación y la aireación del agua.

Capítulo V

Lagunas facultativas.

Capítulo V

Las lagunas facultativas poseen una zona aerobia y una zona anaerobia, situadas respectivamente en superficie y fondo. Por tanto, en estas lagunas se puede encontrar cualquier tipo de microorganismos, desde anaerobios estrictos en el lodo del fondo hasta aerobios estrictos en la zona inmediatamente adyacente a la superficie. Sin embargo, los seres vivos más adaptados al medio serán los microorganismos facultativos, que pueden sobrevivir en las condiciones cambiantes de oxígeno disuelto típicas de estas lagunas a lo largo del día y del año. Además de las bacterias y protozoos, en las lagunas facultativas es esencial la presencia de algas, que son las principales suministradoras de oxígeno disuelto.

El objetivo perseguido en las lagunas facultativas es obtener un efluente de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica, y reducido en el contenido de nutrientes y bacterias coliformes.

5.1 Fundamentos de la depuración de las lagunas facultativas

La degradación de la materia orgánica en lagunas facultativas tiene lugar fundamentalmente, por la actividad metabólica de bacterias heterótrofas facultativas, que pueden desarrollarse tanto en presencia como en ausencia de oxígeno disuelto, si bien su velocidad de crecimiento, y por tanto la velocidad de depuración, es mayor en condiciones aerobias. Puesto que la presencia de oxígeno es ventajosa para el tratamiento, las lagunas facultativas se diseñan de forma que se favorezcan los mecanismos de oxigenación del medio.

Las dos fuentes de oxígeno en lagunas facultativas son la actividad fotosintética de las algas y la reaireación a través de la superficie.

Puesto que las algas necesitan luz para generar oxígeno, y la difusión de este en el agua es muy lenta, las lagunas tienen normalmente poca profundidad (1-2 metros), para facilitar así un ambiente oxigenado en la mayor parte del perfil vertical. La profundidad a la cual se anula el contenido de oxígeno disuelto se llama oxipausa y varía a lo largo del día y del año.

Uno de los signos del buen funcionamiento en las lagunas facultativas es el desarrollo de un color verde brillante debido a la presencia de algas. Las bacterias y algas actúan en forma simbiótica, con el resultado global de la degradación de la materia orgánica. Las bacterias utilizan el oxígeno suministrado por las algas para metabolizar en forma aerobia los compuestos orgánicos. En este proceso se liberan nutrientes solubles (nitratos, fosfatos) y dióxido de carbono en grandes cantidades. Estos son utilizados por las algas en su crecimiento. De esta forma, la actividad de ambas es mutuamente beneficiosa. En la figura 5.1 aparece un diagrama en el que se resume esta actividad coordinada entre algas y bacterias.

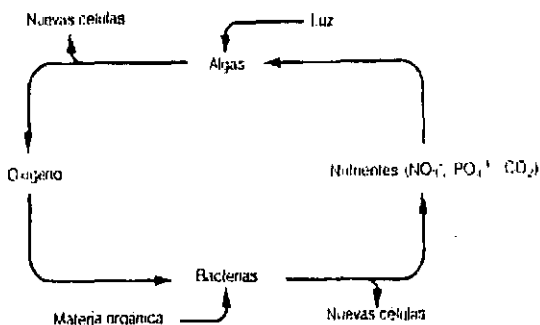


FIGURA 5.1
Representación esquemática de la actividad de algas y bacterias en lagunas facultativas

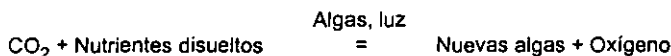
Desde el punto de vista de la depuración, las bacterias se pueden describir como pequeños reactores bioquímicos, capaces de autorregularse. La oxidación biológica es la conversión bacteriana de los compuestos orgánicos hasta compuestos inorgánicos oxidados, proceso que se conoce con el nombre de mineralización. Como ejemplo de estos procesos tenemos:

		bacterias	
Carbono orgánico	+O ₂	=	CO ₂
Hidrógeno orgánico	+O ₂	=	H ₂ O
Nitrógeno orgánico	+O ₂	=	NO ₃ ⁻
Fósforo orgánico	+O ₂	=	PO ₄ ³⁻
Azúfre orgánico	+O ₂	=	SO ₄ ²⁻

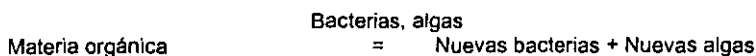
Las bacterias oxidan los productos de desechos para conseguir la energía y materias primas necesarias para la síntesis de las moléculas complejas de las que están formadas (proteínas, polisacáridos, etc). El proceso global de oxidación bacteriana puede describirse mediante la ecuación siguiente:



Por su parte, las algas sintetizan la materia orgánica de la que están constituidas en presencia de luz, para lo que necesitan, además, dióxido de carbono y nutrientes disueltos:



De esta forma, si combinamos la actividad de algas y bacterias, el proceso global es el siguiente:



En conjunto se obtiene una estabilización de la materia orgánica, que se traduce en fuertes descensos de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) del agua a su paso por las lagunas facultativas. En la figura 5.2 aparece un esquema simplificado de los principales procesos por los que tiene lugar la depuración en lagunas facultativas.

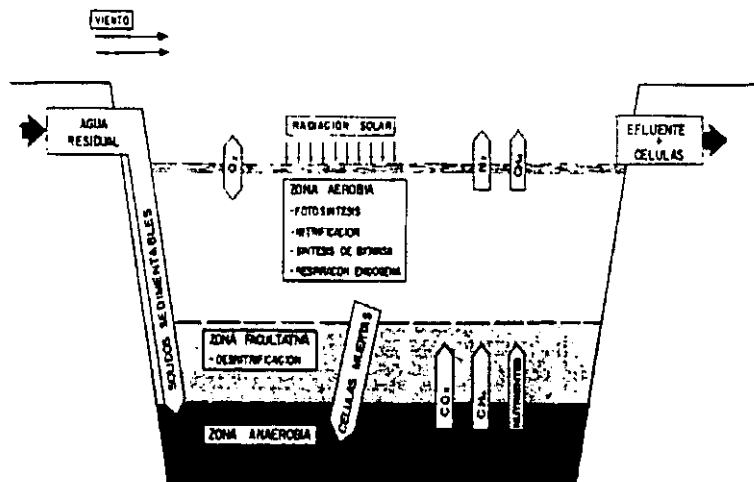


FIGURA 5.2
Esquema de los mecanismos responsables de la depuración en lagunas facultativas

5.2 Factores que afectan a la depuración en lagunas facultativas

A continuación se describen los factores que influyen en el comportamiento de las lagunas facultativas. Dado que la actividad de algas y bacterias es el fundamento de la depuración del agua residual almacenada, cualquier variable que afecte esta actividad repercutirá en el tratamiento. Los factores más importantes son los siguientes.

5.2.1 Factores climáticos

Temperatura

Como ocurre con todos los procesos biológicos, la temperatura presenta una influencia marcada en todas las etapas. En general, y para los intervalos de temperatura normales en las lagunas, se puede decir que la velocidad de la depuración aumenta con la temperatura, en especial en lo que concierne a la actividad de las bacterias.

Sin embargo, con respecto a las algas, se han detectado retardaciones importantes en la actividad fotosintética a temperaturas elevadas (superiores a 28°C), relacionadas con la estimulación del crecimiento de algas verdiazules (cianofíceas), menos productivas que las algas verdes (clorofíceas) a las que sustituye. Puesto que este fenómeno coincide con una gran actividad de las bacterias, y por tanto, grandes consumos de oxígeno, pueden desarrollarse zonas anaerobias en las lagunas facultativas en épocas muy calurosas, especialmente si el calentamiento se produce en forma brusca. Normalmente esta situación es transitoria y las lagunas vuelven a funcionar correctamente al cabo de poco tiempo.

El tratamiento en lagunas facultativas es más lento durante los meses de invierno, lo que debe tenerse en cuenta para el diseño con el fin de evitar sobrecargas y mal funcionamiento en la época fría del año.

Radiación solar

Como se mencionó, la luz es fundamental, para la actividad fotosintética. Esta depende no sólo de la luz que alcanza la superficie del agua, sino de la que penetra en profundidad. Dado que el medio es normalmente muy turbio debido al autosombreado, es decir, a la presencia de las mismas algas, la luz que penetra en la laguna se atenúa rápidamente y se anula a poca distancia de la superficie. Por esta razón la profundidad de las lagunas debe ser pequeña, garantizando así que la mayor parte de la columna de agua va a contar con cierto grado de iluminación.

Puesto que la intensidad de la luz varía a lo largo del día y a lo largo del año, la velocidad de crecimiento de las algas varía también de la misma forma. Este fenómeno da lugar a dos efectos fundamentales: el oxígeno disuelto y el pH del agua presentan valores mínimos al final de la noche, y aumentan durante las horas de luz solar, hasta alcanzar valores máximos a media tarde. A partir de este punto los valores decrecen de nuevo a lo largo de la noche.

Viento

La acción del viento en las lagunas facultativas es importante por dos razones:

1. La reaereación a través de la interfase aire-agua depende de la velocidad del viento.
2. El efecto de mezcla del viento puede evitar el desarrollo de estratificación térmica, aunque en ocasiones la acción del viento puede dar lugar a la aparición de problemas de flujo.

Evaporación

Este factor debe tenerse en cuenta en climas muy cálidos y secos. Se considera que una evaporación de 5 mm no provoca efectos apreciables en las lagunas. La repercusión principal de la evaporación es la concentración de los sólidos que contiene el agua almacenada.

Precipitación

El efecto inmediato de la lluvia es provocar un aumento del caudal de entrada, por lo que el tiempo de residencia del agua disminuye. Cuando la lluvia es fuerte, la turbulencia que ésta genera da lugar a que las lagunas aparezcan revueltas.

El oxígeno disuelto suele bajar después de las tormentas debido a la demanda adicional de oxígeno provocada por los sólidos arrastrados por el agua de lluvia y los sedimentos de las lagunas que se mezclan con la columna de agua. Este último fenómeno es especialmente importante en días cálidos, cuando la caída de tormentas provoca el enfriamiento superficial de las lagunas, con lo que se crea una capa de inversión que favorece el desprendimiento de lodos hacia la superficie. Otro efecto de la lluvia es una cierta oxigenación en la zona superficial de las lagunas, debida tanto al propio contenido de oxígeno de la lluvia como a la turbulencia que provoca con su caída.

5.2.2 Factores físicos

Estratificación

Puesto que la densidad del agua cambia con la temperatura, es mínima a 4°C y aumenta para temperaturas menores o mayores, el agua más cálida es más ligera y tiende a "flotar" sobre las capas más frías. Como durante los meses de primavera y verano el calentamiento tiene lugar desde la superficie, las capas superiores están más calientes que las inferiores, son menos densas y flotan sobre ellas sin que se produzcan la mezcla entre unas y otras. Este fenómeno es lo que se conoce como estratificación.

La estratificación de una laguna es como sigue; la zona próxima a la superficie más cálida y con una temperatura casi uniforme, es el epilimnio. La zona central, en la que la temperatura desciende bruscamente al aumentar la profundidad, es la termoclina. Por último, la zona del fondo, que presenta una temperatura más baja, es el hipolimnio.

El efecto principal de la estratificación térmica en lagunas facultativas es la segregación a efectos de flujo de la capa fría inferior. Como la alimentación a la laguna facultativa viene directamente del alcantarillado o de las lagunas anaerobias, su temperatura es normalmente alta, similar a la que existe en el epilimnio. Puesto que su densidad es también similar a la del agua en el epilimnio, se mezcla únicamente con ésta, es decir, se distribuye en una capa fina próxima a la superficie y ocupa sólo una fracción del volumen de la laguna.

Flujo a través de las lagunas

La actividad biológica en las lagunas facultativas está muy influida por las características de la circulación del agua. Cuando se proyecta una laguna facultativa, se calcula el tiempo necesario para alcanzar un determinado grado de depuración. Este tiempo se denomina tiempo teórico de retención, y resulta de dividir el volumen de la laguna por el caudal de agua a tratar que recibe.

Aunque este dato es importante, desde el punto de vista de la depuración lo que importa es si realmente todo el material que entra en la laguna permanece en ella durante ese tiempo, o si hay diferencias importantes entre el tiempo que una parte u otra del fluido permanece en la laguna. Cuando esto ocurre, la fracción que atraviesa rápidamente el estanque alcanza un grado menor de estabilización que la que permanece embalsada durante más tiempo. Estas diferencias en el tiempo real de residencia provocan siempre la disminución de la eficacia del tratamiento.

La circulación del agua a través de la laguna viene afectada por la forma y tamaño de ésta, la situación de entradas y salidas, velocidad y dirección de los vientos dominantes y la aparición de diferencias de densidad dentro del estanque. Las anomalías de flujo más frecuentes se manifiestan en la aparición de zonas muertas, es decir, partes de la laguna en las que el agua permanece estancada durante largos períodos de tiempo.

Profundidad

La profundidad de las lagunas facultativas suele fijarse entre 1 a 2 metros. El límite inferior está condicionado por la posibilidad de crecimiento de vegetación emergente para profundidades menores, lo cual se desaconseja normalmente para evitar el desarrollo de mosquitos.

En cuanto al límite superior, las profundidades inferiores a 2 metros tienen el objetivo de limitar la posibilidad de estratificación, así como, favorecer un ambiente aerobio en la mayor parte del perfil vertical.

5.2.3 Factores químicos y bioquímicos

pH

El pH de las lagunas facultativas viene determinado fundamentalmente por la actividad fotosintética del fitoplancton y la degradación de la materia orgánica por las bacterias. Las algas consumen anhídrido carbónico en la fotosíntesis, lo que desplaza el equilibrio de los carbonatos y da lugar a un aumento de pH.

Por otra parte, la degradación de la materia orgánica conduce a la formación de CO_2 como producto final, lo que causa una disminución del pH. Cuando las lagunas facultativas están operando correctamente el pH presenta valores ligeramente alcalinos, del orden de 7.5 a 8.5.

Oxígeno disuelto

El contenido de oxígeno disuelto en las lagunas facultativas es uno de los mejores indicadores sobre su funcionamiento. La principal fuente de oxígeno disuelto es la fotosíntesis, seguida por la reaireación superficial. Una laguna facultativa que opere correctamente debe tener una capa superficial oxigenada. La concentración de oxígeno disuelto presenta una variación sinusoidal a lo largo del día. El contenido en oxígeno es mínimo al amanecer y máximo por la tarde, y puede oscilar entre un valor nulo hasta la sobresaturación.

Además de las variaciones diarias en el contenido en oxígeno disuelto, éste presenta también variaciones importantes en profundidad. La concentración de oxígeno disuelto es máxima en superficie, y a medida que aumenta la profundidad va disminuyendo hasta anularse. La profundidad a la que se anula el oxígeno disuelto se llama oxipausa, y su posición depende de la actividad fotosintética, el consumo de oxígeno por las bacterias y el grado de mezcla inducido por el viento. En invierno la capa oxigenada tiende a ser mucho más reducida que en verano.

Nutrientes

Los nutrientes son fundamentales para la buena marcha de la depuración en lagunas. El agua residual urbana posee un contenido de nutrientes adecuado para el desarrollo de los microorganismos responsables del tratamiento sin que sea necesario ajustar la concentración de ninguno de ellos. A medida que progresa el tratamiento, y especialmente cuando se dispone de varias lagunas en serie, se va produciendo una eliminación de nutrientes que puede dar lugar a que uno o varios alcancen concentraciones limitantes para el desarrollo subsiguiente de algas o bacterias.

A continuación veremos los ciclos de nutrientes en el medio acuático y los procesos por lo que se produce su transformación entre unas formas y otras en las lagunas.

Ciclo del nitrógeno

El nitrógeno entra en las lagunas facultativas en forma orgánica y amoniacal. El agua residual urbana a veces contiene nitrógeno en forma oxidada (nitritos y nitratos), pero durante su tratamiento en lagunas anaerobias estas formas desaparecen. Los procesos que afectan a las distintas formas de nitrógeno en las lagunas facultativas son los siguientes:

- ◆ **Mineralización o amonificación.** Consiste en la transformación de nitrógeno orgánico en nitrógeno amoniacal. Los mecanismos responsables de esta transformación son la hidrólisis de la materia orgánica y la desaminación subsiguiente de los aminoácidos resultantes.
- ◆ **Nitrificación.** Es la oxidación del nitrógeno amoniacal hasta nitritos y nitratos, llevada a cabo por las llamadas bacterias nitrificantes. Este proceso tiene lugar únicamente en medio aerobio, y tiene gran importancia, ya que el nitrato sirve como nutriente en el desarrollo de las algas. La nitrificación tiene lugar en dos etapas: en la primera se generan nitritos, y en la segunda los nitritos se oxidan a nitratos. La primera etapa es mucho más lenta que la segunda, y limita la velocidad del proceso global. La concentración de nitritos se mantiene siempre baja en relación con la de nitratos. Además, los nitritos son poco estables y tienden a evolucionar hasta el producto final nitrato o bien a ser reducidos de nuevo para producir óxido nitroso (N_2O) o nitrógeno molecular (N_2).
- ◆ **Desnitrificación.** En condiciones anaerobias, las formas oxidadas de nitrógeno, es decir, los nitritos y nitratos, son reducidos a N_2O y N_2 por las llamadas bacterias desnitrificantes. Como los productos finales de la desnitrificación son gaseosos y muy poco solubles, tienden a escapar de la laguna e incorporarse a la atmósfera, por lo que este proceso se traduce en una pérdida neta de nitrógeno.

- ◆ **Asimilación por los microorganismos.** Tanto el nitrógeno amoniacal como los nitratos pueden ser utilizados por los microorganismos como nutrientes. De esta forma se incorporan al tejido celular y vuelven a formar parte del nitrógeno orgánico presente en el medio.

Teniendo en cuenta a los sedimentos, el nitrógeno viene afectado por los dos procesos siguientes.

- ◆ **Sedimentación:** una parte de la materia orgánica y los microorganismos sedimentan y forman parte de la capa de lodos acumulados en el fondo. Esto se traduce en un almacenamiento temporal de nitrógeno en forma orgánica.
- ◆ **Regeneración:** el nitrógeno orgánico de los sedimentos sufre los fenómenos de hidrólisis y desaminación, con lo que se genera nitrógeno amoniacal que se reincorpora como nutriente a la capa líquida.

En la figura 5.3 aparece un ciclo simplificado del nitrógeno, con sus partes aerobia y anaerobia.

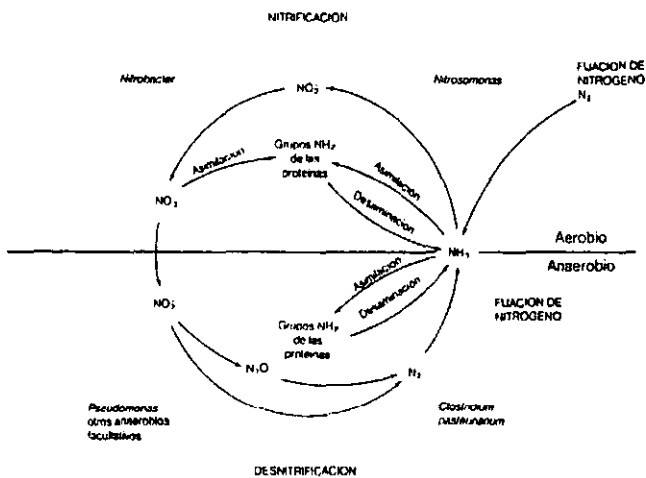


FIGURA 5.3
Ciclo del nitrógeno en ambientes acuáticos

Ciclo del Fósforo

El fósforo tiene gran interés en los procesos de tratamiento porque normalmente es el nutriente limitante, es decir, el que se presenta en concentraciones inferiores y regula así la posibilidad de crecimiento de microorganismos.

Las lagunas que reciben aguas residuales urbanas no suelen estar limitadas en cuanto a su contenido en fósforo, pero es conveniente que la concentración de fósforo a la salida sea lo menor posible para evitar proliferaciones de algas en los cursos de agua receptoras. Las formas de fósforo más significativas en las lagunas facultativas son el fósforo orgánico y el fósforo soluble (ortofosfatos). Los procesos de transformación a que se encuentran sometidos los compuestos de fósforo son los siguientes:

- ◆ Mineralización del fósforo orgánico, que resulta en la liberación de fósforo soluble directamente asimilable por los microorganismos. El fósforo orgánico está en forma de ésteres fosfóricos y resulta fácilmente hidrolizable, por lo que la reincorporación al medio como nutriente tras la muerte de los microorganismos es rápida y uniforme.
- ◆ Precipitación del fósforo como sales insolubles, que quedan inmovilizados a efectos de la actividad biológica en los sedimentos del fondo. La fracción más importante de este fósforo precipita en forma de fosfato cálcico y fosfato férrico.
- ◆ Asimilación de fósforo soluble en el crecimiento de algas y bacterias con lo que queda incorporado a su tejido celular y convertido, por tanto, en fósforo orgánico.

Los sedimentos actúan, pues, como una trampa en la que se pierde una fracción importante (alrededor del 10% en procesos de lagunaje) del fósforo introducido en el sistema. Este hecho es ventajoso desde el punto de vista de eliminación de nutrientes, ya que contribuye a la reducción de riesgos de contaminación en aguas receptoras. Por otra parte, los sedimentos participan, además, en el ciclo del fósforo en la forma siguiente:

- ◆ Sedimentación de materia orgánica y microorganismos, lo que da lugar, como en el caso del nitrógeno, al almacenamiento temporal de fósforo orgánico en el lodo del fondo.
- ◆ Regeneración del fósforo soluble durante la degradación anaerobia de los lodos, por hidrólisis de los compuestos orgánicos de fósforo almacenados.

Debido a la facilidad con que se produce el paso de fósforo orgánico a inorgánico, la fracción del primero suele estar entre 2 y 20% del total. En la figura 5.4 aparece un ciclo simplificado del fósforo.

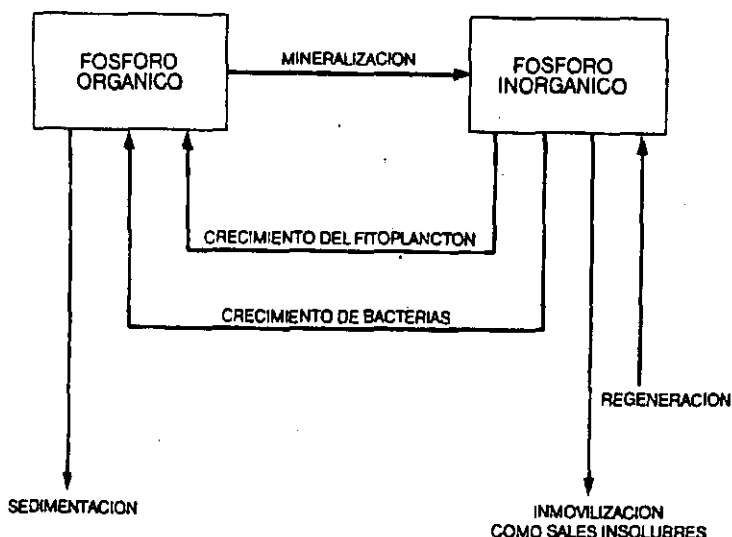


FIGURA 5.4
Ciclo del fósforo en lagunas de estabilización

Ciclo del azufre

El azufre no es, como el nitrógeno y fósforo, uno de los nutrientes mayoritarios en las lagunas de estabilización. Sin embargo, y dada la trascendencia de alguna de sus formas en la marcha de la depuración, es importante el estudio de su ciclo, en especial en relación con problemas de funcionamiento que pueden aparecer en las lagunas.

El azufre puede existir en la naturaleza en distintas formas. Entre ellas, las que poseen mayor significado ecológico son los sulfuros, azufre elemental y sulfatos. De estas tres formas, los sulfatos son normalmente la única presente en el agua residual bruta, excepto cuando ésta presenta condiciones sépticas, en cuyo caso hay tanto sulfatos como sulfuros. Los procesos que afectan a la concentración de estas formas de azufre en las lagunas facultativas son los siguientes:

- ◆ Reducción bacteriana de los sulfatos a sulfuros. Esta transformación tiene lugar en medio anaerobio y preferentemente cuando la concentración de materia orgánica es elevada.
- ◆ Oxidación de los sulfuros a azufre elemental. Este proceso se puede llevar a cabo en medio aerobio y en medio anaerobio. Puesto que el sulfuro de hidrógeno se oxida espontáneamente en presencia de oxígeno para dar azufre elemental y agua, las bacterias oxidantes que realizan este mismo proceso suelen vivir en la zona donde entra en contacto el SH_2 procedente del fondo y el O_2 procedente de la superficie.

Por otra parte, en medios anaerobios, y siempre que haya luz disponible, las bacterias fotosintéticas del azufre pueden llevar a cabo esta oxidación, ya que son responsables de la coloración roja que aparece en ocasiones en estos sistemas. El desarrollo de estas coloraciones en lagunas facultativas es un síntoma de sobrecarga, por lo que hay que tomar medidas para facilitar el funcionamiento de la planta tan pronto como se detecte este fenómeno.

- ◆ Oxidación de los sulfuros a sulfatos. También puede llevarse a cabo por bacterias aerobias o por bacterias fotosintéticas en medio anaerobio. Normalmente no tiene importancia en lagunas de estabilización.
- ◆ Asimilación del sulfato por parte de los microorganismos, con lo que se incorpora al tejido celular en los grupos tiol (SH) de las proteínas.
- ◆ Degradación de la materia orgánica, que da lugar a la aparición de sulfuros solubles.

Los distintos procesos responsables de la interconversión entre las distintas formas de azufre se han recogido en forma simplificada en el ciclo representado en la figura 5.5.

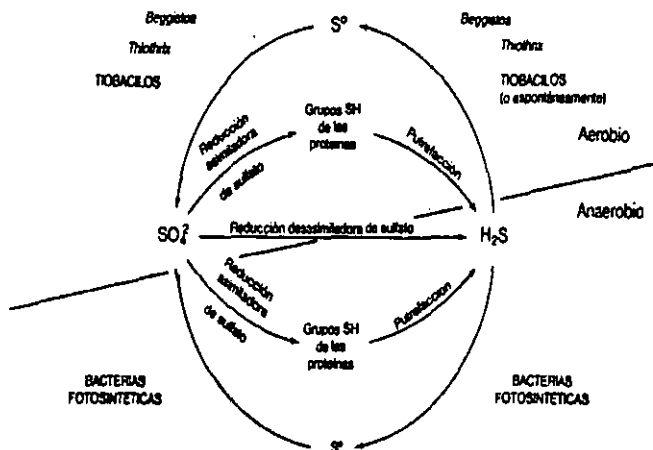


FIGURA 5.5
Ciclo del azufre en ambientes acuáticos

Sedimentos

Los sedimentos que aparecen en las lagunas facultativas están formados por desechos orgánicos refractarios al tratamiento biológico, compuestos orgánicos biodegradables y complejos minerales precipitados. Cuando la laguna facultativa recibe el efluente de una laguna anaerobia la generación de lodos en el fondo es extremadamente lenta. Si recibe aguas residuales crudas la acumulación puede ser de varios centímetros por año.

5.3 Seres vivos en las lagunas facultativas

Además de las bacterias y las algas, las lagunas facultativas se convierten en el hábitat de otras formas de vida, como son protozoos, hongos, insectos y otros animales y plantas más complejos.

Bacterias

Las bacterias son microorganismos unicelulares que se dividen por escisión celular. Las bacterias producen unos compuestos químicos llamados enzimas cuya misión es atacar o digerir tipos específicos de alimentos.

Por ejemplo, algunas enzimas se emplean en la digestión de grasas, otras en la de proteínas o carbohidratos, etc. Las bacterias exudan sus enzimas y absorben los alimentos de la disolución en la que viven. Si el medio contiene un suministro adecuado de alimentos, y otras condiciones ambientales son favorables, las poblaciones bacterianas pueden duplicarse en cuestión de minutos. Por tanto, gran parte de la materia orgánica originalmente presente en el agua residual puede convertirse rápidamente en materia celular viva.

En la tabla 5.1 se presentan algunos de los géneros de bacterias más comunes en lagunas de estabilización.

Tabla 5.1 Géneros de bacterias más comunes en lagunas de estabilización

- Achromobacter	- Nitrobacter	- Thiocapsia
- Alcaligenes	- Nitrococcus	- Thiopedia
- Bacillus	- Nitrospina	- Thiospira
- Beggiatoa	- Nitrosococcus	- Thiospirillum
- Chlorobium	- Nitrosolobus	- Zooglea
- Cholopseudomonas	- Nitrosomonas	
- Chromatium	- Nocardia	ENTEROBACTERIAS:
- Choromobacterium	- Pelodietyon	- Citrobacter
- Clathrochloris	- Prosthecochloris	- Edwarosiella
- Crenothrix	- Pseudomonas	- Enterobacter
- Desulfotomaculum	- Rhodomicrobium	- Escherichia
- Desulfovibrio	- Rhodopseudomonas	- Klebsiella
- Flavobacterium	- Rhodospirillum	- Proteus
- Lactobacillus	- Sphaerotilus	- Salmonella
- Methanobacterium	- Streptomyces	- Shigella
- Methanococcus	- Thiobacillus	
- Methanosarcina	- Thiobacterium	

Algas

Aunque las algas de agua dulce presentan una distribución casi universal, sólo unos pocos de los géneros identificados en las lagunas de estabilización están presentes en ellas en forma persistente y tienen una influencia importante en el proceso de tratamiento. Algunas de estas algas se presentan en la tabla 5.2. Las algas deben su color verde a la presencia de clorofila.

Normalmente, las algas presentes en las lagunas de estabilización son unicelulares y se multiplican por escisión celular. La mayor parte del oxígeno de las lagunas es generado por la actividad fotosintética de las algas. Este oxígeno es liberado en forma de burbujas muy pequeñas. Durante el final de la primavera y verano, cuando la fotosíntesis es más activa, pueden alcanzarse condiciones de supersaturación, que se manifiestan por la tendencia al burbujeo del agua cuando se agita o introduce algún objeto extraño en ella.

Las algas absorben nutrientes solubles provenientes de la alimentación o de la descomposición bacteriana de la materia orgánica. En las lagunas se encuentran algas móviles, dotadas de flagelos que les permiten desplazarse, e inmóviles, que dependen de las corrientes internas del estanque para moverse de una zona a otra. Las algas móviles presentan ventajas con respecto a las inmóviles, en especial en relación con su adaptabilidad a los medios turbios generados por la misma presencia de algas, puesto que pueden emigrar a profundidades con un adecuado nivel de iluminación.

Tabla 5.2 Género de algas y diatomeas en lagunas de estabilización

Algas verdes no móviles	Algas verdes móviles	Algas verdiazules
<ul style="list-style-type: none"> - Ankistrodesmus - Chorella - Chlorococcum - Kirchneriella - Micractinium - Pediastrum - Oocystis - Scenedesmus - Schroederia - Selenastrum - Sphaerocystis 	<ul style="list-style-type: none"> - Carteria - Chlamydomonas - Chlorella - Chlorogonium - Euglena - Phacus <p>Diatomeas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cyclotella - Diatoma - Navicula - Nitzschia 	<ul style="list-style-type: none"> - Anacystis - Oscillatoria - Phormidium - Spirulina

Hongos (mohos y levaduras)

En la tabla 5.3 se presenta una lista de hongos identificados en muestras provenientes de lagunas de estabilización.

Los hongos contribuyen también a la degradación de la materia orgánica, y son organismos no fotosintéticos y heterótrofos. Los hongos acuáticos, como las bacterias, son seres saprofiticos, es decir, que se alimentan de materia muerta. El proceso de alimentación lo llevan a cabo por liberación de enzimas que atacan las sustancias nutritivas en su entorno, y después absorben los productos resultantes. Sin embargo, y a diferencia de las bacterias, el pH óptimo para el crecimiento de mohos y levaduras está en el intervalo 5 a 6, lo que a efectos del lagunaje se traduce en una participación escasa en el tratamiento, ya que el pH del medio es prácticamente siempre superior a 7 y muy a menudo está por encima de 8, en especial durante la primavera y verano.

Tabla 5.3 Relación de hongos identificados en lagunas de estabilización

- Achlya	- Arthrobotrys	- Aspergillus
- Allescheria	- Botryotrichum	- Curvularia
- Aphanomyces	- Botrytis	- Dendryphion
- Arthoderma	- Candida	- Fusarium
- Chaetomium	- Cladobotryum	- Gliocadium
- Colletotrichum	- Cryptococcus	- Gliomastix
- Cunninghamella	- Epicoccum	- Helminthosporium
- Diplodia	- Geotrichum	- Isaria
- Emericella	- Humicola	- Leptographium
- Emericellopsis	- Hymenula	- Mennoiella
- Endomycopsis	- Kloeckera	- Paecilomyces
- Gongronella	- Leptomitus	- Penicillium
- Hansenula	- Monochaetia	- Phialophora
- Mucor	- Monosporium	- Scopulariopsis
- Phoma	- Nigrospora	- Stachybotrys
- Pichia	- Pestalotia	- Stemphylium
- Rhizopus	- Rhodotorula	- Stysamus
- Saccharomyces	- Sepedonium	- Thisanophora
- Sartorya	- Sporobolomyces	- Trichocladium
- Saturnomyces	- Torulopsis	- Verticillium
- Syncephalastrum	- Trichosporon	

Protozoos

Los protozoos se alimentan de bacterias y materia detrítica, o incluso, de otros protozoos. La mayoría de los protozoos en las lagunas de estabilización poseen cilios, es decir, apéndices diminutos como pequeños pelos, cuyo movimiento les permite desplazarse en el medio acuático (Paramecium) o impulsar las partículas de alimento hacia sus cavidades digestivas (Vorticella). Los protozoos, a veces, poseen pedúnculos y viven anclados en materia sólida. Entre este tipo de protozoos están los géneros Vorticella y Opercularia.

En la tabla 5.4 se presentan los géneros de protozoos más comunes en las lagunas de estabilización.

Tabla 5.4 Géneros de protozoos identificados en lagunas de estabilización

- Colpoda	- Arcella	- Amoeba
- Euplotes	- Chilodonella	- Apidisca
- Frontonia	- Cyclidium	- Astylozoon
- Halteria	- Hastatella	- Clopidium
- Lionotus	- Opisthonecta	- Didinium
- Paramecium	- Oxytricha	- Glauchoma
- Pleuronema	- Sphaerophira	- Opercularia
- Strombidium	- Stylonichia	- Prorodon
- Uronema	- Tachysoma	- Trachelius
- Vorticella	- Urostyla	

Insectos, Copépodos, Rotíferos y Cladóceros

Aunque hay una gran variedad de insectos que pueden vivir en el hábitat constituido por las lagunas de estabilización, muy pocos de ellos contribuyen en alguna medida al tratamiento, y la mayoría se puede considerar más bien molestias a evitar en lo posible.

Entre aquellos que pueden contribuir al tratamiento destacan las larvas de la mosca de agua (Chironomidae), que son muy abundantes en algunas lagunas, especialmente cuando ya se ha alcanzado un buen grado de tratamiento. Estas larvas tienen un color rojo brillante, y resultan fácilmente visibles en la zona próxima a las orillas, donde viven en gran número. Se alimentan de materia detrítica, y en algunas especies de los detritos acumulados en el fondo de las lagunas.

Los zapateros (Corixidae) se alimentan también de materia detrítica, y a veces son muy numerosos en las lagunas. Estos insectos necesitan un soporte para la puesta de sus huevos, por lo que en lagunas correctamente operadas, en las que se eliminan las plantas de la orillas, su presencia es muy escasa. Esto mismo ocurre con los mosquitos, que prácticamente no están presentes en lagunas de estabilización en las que no haya vegetación emergente.

Los rotíferos y cladóceros son beneficiosos para las lagunas, ya que se alimentan de algas, protozoos, bacterias y otras materias en suspensión, y contribuyen efectivamente a la clarificación de las aguas. Su acción permite una mejor iluminación a profundidades superiores, y por tanto, el crecimiento de algas y la oxigenación de capas inferiores de las lagunas.

Por último, en las lagunas de estabilización suelen vivir numerosas aves durante la primavera y verano.

5.4 Diseño en lagunas facultativas

Se han propuesto numerosos métodos de diseño de lagunas facultativas, que pueden clasificarse en las categorías siguientes:

a) Métodos empíricos. Estos métodos consisten en relaciones matemáticas sencillas deducidas de las observaciones experimentales realizadas en un determinado estanque de estabilización, o en un grupo de ellos que trabajan en condiciones muy similares, tanto respecto a la climatología como a la alimentación. Puesto que en estas circunstancias se puede hacer abstracción de todas las variables iguales, el método empírico utiliza como variables de diseño sólo un grupo reducido de los factores que afectan al tratamiento en lagunas, especialmente caudal, tiempo de residencia y carga aplicada. El parámetro fundamental de diseño lo constituye la reducción en una de las medidas de la carga orgánica, normalmente demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

b) Métodos racionales. Este grupo de métodos debe su nombre al hecho de que se ha intentado ofrecer en ellos una explicación en términos cinéticos de lo que ocurre en los estanques de estabilización. Normalmente se basan también en la reducción experimentada por una sola variable indicativa de la carga orgánica, y se fundamentan en hipótesis restrictivas, que facilitan en gran medida los cálculos, a costa de pérdida de rigor en la caracterización de los estanques. Entre estas hipótesis se encuentran las siguientes:

- La composición de la alimentación se considera constante a lo largo del año.
- El régimen hidráulico corresponde a un modelo ideal de flujo.
- Las lagunas funcionan en régimen estacionario.
- No se producen sedimentaciones parciales de la materia orgánica hacia el lodo del fondo, es decir, no se define el sistema detrítico.
- Las pérdidas por infiltración en el terreno y evaporación se consideran despreciables, o se compensan con los aportes por precipitación.
- La cinética del tratamiento es de primer orden con una constante de velocidad que se define normalmente como función exponencial de la temperatura.

c) Modelos matemáticos. Aunque en realidad son una subcategoría de los métodos racionales, estos métodos de diseño presentan características muy diferentes en cuanto a las hipótesis utilizadas para describir el tratamiento en lagunas. Fundamentalmente, en ellos se considera que son sistemas dinámicos, con cinéticas complejas y regímenes no ideales de flujo. Estos métodos se basan en la modelación matemática de las interacciones físico-químicas y biológicas responsables del tratamiento en lagunas. Su complejidad es mucho mayor, ya que describen en forma dinámica la relación simbiótica existente entre bacterias y fitoplancton, para lo que es necesario llevar a cabo un balance de materia de las distintas especies químicas y biológicas presentes en el sistema.

A continuación se describen brevemente los métodos empíricos y racionales más utilizados hasta la fecha para el diseño de lagunas facultativas.

5.4.1 Métodos empíricos

Entre los métodos empíricos, la utilización de un intervalo admisible de carga superficial es el criterio de diseño que los proyectistas utilizan con más frecuencia. La Organización Mundial de la Salud recomienda para climas templados un intervalo de 200-400 Kg DBO₅ / ha día.

Otros métodos empíricos consisten en ecuaciones deducidas a partir de los datos recogidos en varias lagunas que operan en condiciones similares. Entre los más conocidos son los siguientes:

- ◆ **Ecuación de Arceivala.** Esta ecuación relaciona la carga superficial admisible con la latitud de la laguna. Se dedujo a partir de datos recogidos en India, y es aplicable para un intervalo de latitud entre 8° N - 36° N.

$$L \text{ (Kg DBO}_5 \text{ / ha día)} = 375 - 6.25 \text{ (latitud)} \dots\dots\dots (5.1)$$

En esta ecuación, la latitud viene a representar las variaciones en temperatura en las distintas zonas. Desde este punto de vista, esta ecuación y la de McGarry-Pescod que se presenta a continuación son conceptualmente análogas.

- ◆ **Método de McGarry-Pescod.** El análisis de datos operativos de lagunas facultativas situadas en zonas geográficas muy diversas muestra que la carga superficial máxima que puede aplicarse a una laguna antes de que ésta entre en anaerobiosis se relaciona con la temperatura media mensual del aire en la forma siguiente:

$$L_{\max} = 11.2 (1.054)^T \dots\dots\dots (5.2)$$

Puesto que la carga admisible máxima aumenta con la temperatura, en el diseño se utiliza la aproximación más conservadora, para la cual se toma la temperatura media del mes más frío. Sin embargo, la carga máxima admisible calculada de esta forma daría lugar a una laguna que estaría en el límite de lo tolerable al menos durante un mes al año. Para evitar anaerobiosis es necesario introducir un factor de seguridad, con lo que la ecuación anterior quedaría:

$$L_{\max} = 7.5 (1.054)^T \dots\dots\dots (5.3)$$

En estudios subsiguientes se ha puesto de manifiesto que esta ecuación no resulta adecuada para el diseño de lagunas que reciben poca carga (14.1-27.2 Kg / ha día). Sin embargo, para cargas superficiales unas diez veces superiores en climas cálidos se considera que este método produce resultados adecuados.

♦ **Método de Larsen.** El área necesaria para conseguir una reducción prefijada en materia orgánica en una laguna de estabilización facultativa se calcula mediante la expresión siguiente:

$$MOT = (2.468RED + 2.468TTC + 23.9/TEMPR + 150.0/DRY)10^6 . (5.4)$$

donde las distintas variables se definen en la forma siguiente:

$$MOT = \frac{Area (radiación solar)^{1/3}}{Caudal inf luyente (DBO_5 inf l.)^{1/3}} \dots\dots\dots (5.5)$$

$$RED = \frac{DBO_5 INFL - DBO_5 EFL}{DBO_5 INFL} \dots\dots\dots (5.6)$$

$$TTC = \frac{Velocidad viento (DBO_5 INFL)^{1/3}}{(radiación solar)^{1/3}} \dots\dots\dots (5.7)$$

$$TEMPR = \frac{Temperatura agua}{Temperatura aire} \dots\dots\dots (5.8)$$

DRY = Humedad relativa

El cálculo del área necesaria se hace aplicando esta ecuación en las condiciones más desfavorables: intensidad de la radiación solar y temperatura media en invierno, carga orgánica máxima, etc.

- ♦ **Método de Gloyna.** Este método se desarrolló a partir de numerosos experimentos en lagunas y ensayos de laboratorio. Este autor recomienda utilizar como variable de diseño la demanda bioquímica de oxígeno a tiempo infinito o la demanda química de oxígeno, justificando esta elección en los elevados tiempos de retención en las lagunas facultativas. Sin embargo, la DBO_5 se puede utilizar en el caso de efluentes pretratados, como sería el caso cuando se cuenta con una primera etapa en lagunas anaerobias. Para aguas residuales urbanas no tratadas, la demanda bioquímica a tiempo infinito varía entre $1.1 \times DBO_5$ y $1.7 \times DBO_5$. La ecuación de diseño propuesta es la siguiente:

$$V = 3.5 \times 10^{-5} Q L_U \Theta^{(35-T)} f f' \dots\dots\dots (5.9)$$

donde:

- V = Volumen de la laguna, m^3 ;
- Q = Caudal de agua residual, l / día;
- L_U = Demanda bioquímica de oxígeno a tiempo infinito o demanda química de oxígeno, mg / l;
- Θ = Coeficiente de temperatura, adimensional;
- T = Temperatura del agua, °C;
- f = Factor de toxicidad para las algas;
- f' = Factor de corrección por compuestos químicos reductores.

En cuanto a la profundidad de la laguna, se determina una vez calculado el volumen necesario en base al tipo de agua residual contenido en sólidos sedimentables, temperatura y condiciones climáticas.

La OMS recomienda el uso de los métodos de Gloyna o de McGarry-Pescod, en función de la carga orgánica a tratar y de la localización geográfica de las lagunas, cuando no se dispone de datos específicos fiables.

5.4.2 Métodos racionales

Los métodos más utilizados en esta categoría son los siguientes:

- ◆ **Marais y Eckenfelder**, entre otros, proponen la expresión siguiente, basada en la hipótesis de mezcla completa, estado estacionario y cinética de depuración de primer orden:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{k(V/Q_0) + Q_e/Q_0} \dots\dots\dots (5.10)$$

- donde:
- C = DBO₅ del efluente, mg / l;
 - C₀ = DBO₅ del influente, mg / l;
 - k = Constante cinética de primer orden, día⁻¹;
 - V = Volumen de la laguna;
 - Q₀ = Caudal de alimentación, m³ día⁻¹;
 - Q_e = Caudal de salida, m³ día⁻¹.

La forma más frecuente de la ecuación anterior es:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{k\tau + 1} \dots\dots\dots (5.11)$$

donde se han hecho las simplificaciones siguientes:

- V/Q₀ = τ, Tiempo de retención hidráulico, y
- Q_e = Q₀, Los caudales de entrada y salida son iguales.

- ◆ **Thirumurthi**. Su ecuación de diseño se basa en las hipótesis de régimen estacionario, flujo, pistón y cinética de primer orden. La expresión correspondiente sería:

$$C / C_0 = e^{-kt} \dots\dots\dots (5.12)$$

- ◆ **Uhlmann**. Cuando se adopta el modelo de tanques en mezcla completa en serie para describir el flujo en las lagunas, junto a las hipótesis de régimen estacionario y cinética de primer orden, la expresión de diseño es:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{k\tau(n)^n} \dots\dots\dots (5.13)$$

► **Uhlmann y Thirumurthi.** Sugieren el método basado en considerar el estanque como sujeto a flujo de dispersión, en régimen estacionario y cinética de primer orden; consideran más preciso el considerar un régimen de flujo no ideal en las lagunas:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{4ae^{1/2d}}{(1+a)^2 e^{a/2d} - (1-a)^2 e^{-a/2d}} \dots\dots\dots (5.14)$$

- donde:
- k = Constante cinética, día⁻¹;
 - a = (1 + kd)^{1/2};
 - d = D / UL_t = 1 / Pe, Coeficiente de dispersión adimensional;
 - U = Velocidad media del fluido, m / h;
 - L_t = Longitud del trayecto hidráulico, m;
 - Pe = Número de Peclet, adimensional;
 - D = Coeficiente de dispersión axial, m² / h.

La evaluación de cualquiera de estas expresiones pasa por la definición de la constante de velocidad. Normalmente, ésta se considera función únicamente de la temperatura. Para definir esta dependencia se utiliza una modificación de la ecuación de Arrhenius, válida para pequeños intervalos de temperatura, como los que se producirían en lagunas de estabilización:

$$k = k_0 \Theta^{(T - T_0)} \dots\dots\dots (5.15)$$

- donde:
- k₀ = Valor de la constante de velocidad a la temperatura de referencia T₀, día⁻¹;
 - T = Temperatura, °C.

En otras ocasiones, el efecto de factores como toxicidad, intensidad luminosa o características hidráulicas se engloba dentro de la constante de velocidad (Thirumurthi), los factores ambientales se incluyen así dentro del método de diseño mediante la definición de un ambiente estándar, que consiste en:

- Temperatura de 20°C en la laguna.
- Carga orgánica de 672 kg de DBO₅ / ha día.
- Ausencia de agentes químicos tóxicos.
- Radiación solar mínima de 100 cal / cm² día.
- Ausencia de carga orgánica debida a la regeneración desde el lodo acumulado en el fondo.

La constante de velocidad en este caso se define en la forma siguiente:

$$k = k_{20} C_{Te} C_0 C_{TOX} \dots\dots\dots (5.16)$$

- donde:
- C_{Te} = Factor de corrección por temperatura, definido conforme a la ecuación de Arrhenius modificada;
 - C_0 = Factor de corrección por carga orgánica aplicada, calculado en la forma:
 $C_0 = 1 - 0.083 / Kg_{20} \log (672 / L)$;
 - L = Carga orgánica, Kg / ha día;
 - C_{TOX} = Factor de corrección por presencia de compuestos tóxicos, cuyo valor es la unidad en ausencia de efluentes industriales.

A continuación se incluye un ejemplo de diseño de una laguna facultativa:

Ejemplo: Diseñar una laguna facultativa para tratar un caudal de agua residual de 3800 m³ / día. Supóngase que se van aplicar las siguientes condiciones:

- . Sólidos suspendidos del afluente: 200 mg / l
- . DBO₅ afluente: 200 mg / l
- . Temperatura del líquido en verano = 25 °C
- . Temperatura del líquido en invierno = 15 °C
- . Constante global de eliminación de DBO₅ de primer orden = 0.25 días⁻¹ a 20 °C
- . Coeficiente de temperatura $\theta = 1.06$
- . Profundidad de la laguna = 1.8 m
- . Factor de dispersión del estanque = 0.5
- . Eficiencia total de eliminación de DBO₅ = 80%

Solución

. A partir de la figura 5.6 (fuente: Tratamiento y depuración de las aguas residuales, Metcalf and Eddy), se determina el valor de kt para un factor de dispersión de 0.5 y una eficiencia de eliminación del 80 %.

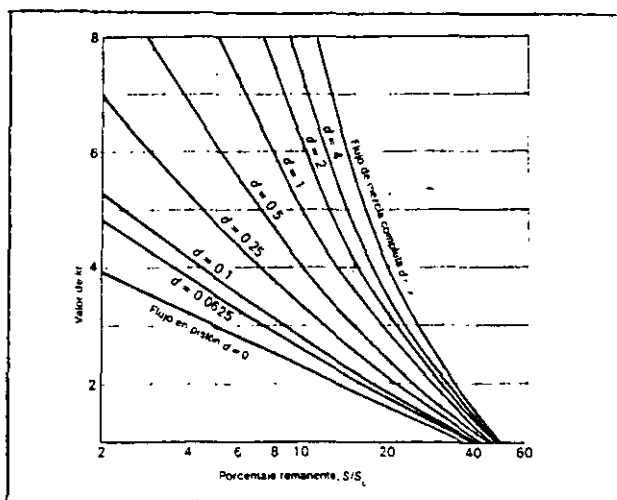


FIGURA 5.6

Valores de kt en la ecuación de Wehner y Wilhelm respecto al porcentaje remanente para diversos factores de dispersión.

SE obtiene un valor de $kt = 2.4$ (1)

2. Determinar el coeficiente de temperatura en condiciones invernales y estivales.

De la ecuación 5.15 de este capítulo ($k = k_0 \Theta^{(T - T_0)}$) tenemos

a) Invierno

$$k_{15} = (0.25 \text{ d}^{-1}) ((1.06)^{(15-20)}) = 0.187 \text{ d}^{-1} \quad (2)$$

b) Verano

$$k_{25} = (0.25 \text{ d}^{-1}) ((1.06)^{(25-20)}) = 0.335 \text{ d}^{-1} \quad (3)$$

3. Determinar el tiempo de detención en condiciones invernales y estivales.

Sustituyendo (2) y (3) en la ecuación 1 ($kt = 2.4$)

a) Invierno

$$(0.187 \text{ d}^{-1}) (t) = 2.4$$

$$t = 12.8 \text{ d}$$

b) Verano

$$(0.335 \text{ d}^{-1}) (t) = 2.4$$

$$t = 7.2 \text{ d}$$

4. Determinar los volúmenes y superficies de la laguna necesarios.

a) Invierno

$$\text{Volumen} = (3800 \text{ m}^3 / \text{d}) (12.8 \text{ d})$$

$$\text{Volumen} = 48\,640 \text{ m}^3$$

$$\text{Área superficial} = 48\,640 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}$$

$$\text{Área superficial} = 48\,640 \text{ m}^2 = 4.86 \text{ ha}$$

b) Verano

$$\text{Volumen} = (3800 \text{ m}^3 / \text{d}) (7.2 \text{ d})$$

$$\text{Volumen} = 27\,360 \text{ m}^3$$

$$\text{Área superficial} = 27\,360 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}$$

$$\text{Área superficial} = 27\,360 \text{ m}^2 = 2.74 \text{ ha}$$

Por consiguiente **las condiciones invernales controlan el diseño.**

5. Determinar la carga de superficie.

$$\text{Kg DBO}_5 / \text{ha} \cdot \text{d} = ((3800 \text{ m}^3 / \text{d}) (200 \text{ g} / \text{m}^3) (10^3 \text{ g/Kg})^{-1}) / 4.86$$

ha

$$\text{Kg DBO}_5 / \text{ha} \cdot \text{d} = 156 \text{ kg} / \text{ha} \cdot \text{d}$$

Capítulo VI

Mantenimiento y control de las lagunas facultativas.

Capítulo VI

Puesto que una de las principales ventajas del tratamiento con base en lagunas es su simplicidad operativa, a menudo se piensa que el mantenimiento de las plantas no es necesario, o se reduce a visitas ocasionales para reparar posibles desperfectos en la obra civil. Sin embargo, la presencia de un operador familiarizado con el proceso, que sea capaz de interpretar los posibles síntomas del mal funcionamiento a medida que aparecen, y tomar las medidas correctoras correspondientes, es decisiva para la buena marcha de la instalación.

Por tanto, el mantenimiento de las lagunas facultativas, o de cualquier tipo de laguna, se centra en dos aspectos fundamentales:

- Cuidado de la obra civil: limpieza de la unidad de pretratamiento, medidores de caudal, rejillas, caminos, jardinería, retirada del lodo acumulado en las lagunas, etc.
- Detección de problemas de funcionamiento y adopción de medidas correctoras.

Estos dos aspectos del mantenimiento son complementarios, ya que a menudo el descuido de la obra civil conduce a problemas de funcionamiento. En este capítulo se describen las medidas a tomar durante la puesta en marcha de la planta, los cuidados necesarios para el mantenimiento de la obra civil y las medidas higiénicas que debe tomar el operador para su seguridad y la de otros en la planta de tratamiento por lagunaje.

El arranque de las lagunas de estabilización puede presentar problemas debido a que los microorganismos responsables de la depuración no aparecen instantáneamente, sino que hace falta un lapso cuya magnitud depende de las condiciones ambientales para conseguir que estas poblaciones de seres vivos se desarrollen en las lagunas.

Teniendo esto en cuenta, se pueden tomar algunas precauciones muy sencillas para evitar complicaciones durante la puesta en marcha:

1. Si la planta se ha diseñado para una población superior a la actual, poner en marcha únicamente una parte de la misma. Generalmente el proyecto establece las lagunas que han de intervenir en el tratamiento en las distintas fases.

2. Las lagunas deben llenarse de agua lo más pronto posible una vez construidas, para evitar que se agrieten debido a las lluvias o que crezcan malas hierbas en el fondo. En cualquier caso, debe eliminarse toda la vegetación del fondo y taludes antes de comenzar el llenado.

3. Las actividades de construcción de las lagunas deben planearse de forma que su conclusión coincida con la primavera o verano. La mayor velocidad de crecimiento de los microorganismos durante esta época del año facilita la puesta en marcha de la instalación.

Cuando esto no es posible, y la puesta en marcha debe realizarse durante el invierno, hay que tener en cuenta la menor actividad de los microorganismos y proceder al arranque utilizando un periodo más largo de tiempo.

A continuación se describe o se expone el procedimiento para la puesta en marcha de las lagunas facultativas.

6.1 Puesta en marcha de las lagunas facultativas

El procedimiento que ha dado mejores resultados en las lagunas facultativas consiste en llenar las lagunas hasta una altura de aproximadamente un metro y dejar almacenada esta agua durante un período de quince a treinta días, dependiendo de las condiciones climáticas. Cuando aparece la coloración verde intensa indicativa del desarrollo de fitoplancton, se procede a completar el llenado de las agunas y a comenzar su funcionamiento en flujo continuo.

Durante el período de llenado, por tanto, es necesario hacer el by-pass de una parte del efluente de las lagunas anaerobias, que se desvía hacia la salida de la planta.

Siempre es preferible verter un efluente de poca calidad en forma transitoria, mientras tiene lugar la puesta en marcha, que proceder apresuradamente a poner en funcionamiento continuo toda la planta y originar problemas de sobrecarga, más difíciles de corregir.

Si hay más de una laguna facultativa operando en paralelo, el llenado se hace escalonadamente, respetando siempre el lapso necesario para que aparezca la coloración verde intensa en cada una de las lagunas antes de iniciar el tratamiento en flujo continuo.

6.2 Cuidado de la obra civil

El mantenimiento de la planta de tratamiento en buenas condiciones debe ser uno de los objetivos fundamentales del operador. Al igual que ocurre con cualquier instalación, si no se cuida diariamente que esté limpia, y se van reparando los desperfectos a medida que se van produciendo, en poco tiempo la planta se deteriora y envejece. En el caso concreto de una planta de tratamiento de aguas residuales surgen también problemas higiénicos para la población.

El operador, por tanto, debe ser consciente de que su trabajo es muy importante para la comunidad, y de que es responsable de posibles amenazas a la salud pública que puedan derivarse de un mantenimiento incorrecto de la planta.

6.2.1 Limpieza del área de pretratamiento

La mayor parte de las lagunas de estabilización cuentan al menos con un sistema de desbaste mediante rejas, con el que se eliminan los sólidos de mayor tamaño arrastrados por las aguas residuales. Con menos frecuencia, el pretratamiento consta también de una cámara de grasas, tamices o desarenador. Cada una de estas unidades requiere cuidados especiales que se exponen a continuación.

- ◆ Rejas. A medida que los sólidos se van acumulando en las rejas, éstas se van colmatando y el agua encuentra mayor dificultad en atravesarlas. Por tanto, es necesario eliminar los sólidos depositados por lo menos una vez al día.

En las rejas de limpieza mecánica los sólidos acumulados van siendo eliminados periódicamente, y se acumulan en un contenedor, desde donde deben ser retirados por el operador. Si las rejas son de limpieza manual, esta eliminación debe efectuarla el operador, utilizando para ello un rastrillo que encaja entre los barrotes.

Es muy importante la disposición de las rejas en el canal de aguas residuales, ya que a veces es muy incómodo para el operador su limpieza debido a la falta de espacio para maniobrar. Si el diseño ha sido tal que es necesario efectuar acrobacias para limpiar las rejas, es conveniente informar a las autoridades competentes y gestionar la realización de las obras oportunas para evitar posibles accidentes.

Tanto en las rejas de limpieza manual como automática se recogen una serie de sólidos de naturaleza diversa, que pueden dar lugar a serios problemas para la salud si no se entierran lo antes posible. Por ejemplo, estos sólidos húmedos son un buen criadero de mosquitos y roedores si se dejan acumulados en montones al aire libre.

Las rejas de limpieza automática requieren cuidados especiales porque tienen partes móviles que deben lubricarse periódicamente para evitar atascos. Normalmente estos equipos vienen acompañados por instrucciones del fabricante que hay que procurar seguir escrupulosamente.

El mantenimiento diario es muy sencillo y requiere sólo unos minutos, mientras que si se deja que aparezcan problemas, éstos pueden necesitar atención técnica especializada y requerir semanas o incluso meses para volver a poner las rejas en marcha.

A veces se observa la acumulación de sólidos que el sistema automático no es capaz de eliminar. En este caso se debe proceder a su retirada manual mediante rastrillo, antes de los cual ha de desconectarse el equipo. Es muy importante recordar siempre que no se debe manipular ningún aparato automático sin desconectarlo previamente.

- ◆ Tamices. Algunas plantas de lagunaje cuentan con tamices de malla gruesa que eliminan sólidos de tamaño intermedio. Estos tamices van acumulando los sólidos en unas bandejas receptoras. Puesto que los tamices son suministrados también por distintos fabricantes, normalmente disponen de instrucciones para su uso que debe seguirse puntualmente, como en las rejas de limpieza automática. Su mantenimiento diario es también muy sencillo, pero de gran importancia para evitar averías serias.

Al igual que en el desbaste mediante rejas, los sólidos deben eliminarse al menos una vez al día. Dado que la planta suele tener un sistema de rejas previo al tamiz, lo más sencillo es proceder a la limpieza conjunta de ambos y reunir los sólidos separados por uno y otro método. El destino final de estos sólidos debe ser su enterramiento en el menor intervalo de tiempo posible.

- ◆ Desarenadores. Los desarenadores eliminan partículas de arena u otras materias inorgánicas más pesadas que el agua, que tienden a sedimentar.

Los desarenadores instalados en lagunas de estabilización son prácticamente siempre de flujo horizontal. Las arenas y otros materiales pesados se acumulan en el fondo del desarenador, desde donde se van eliminando, ya sea automáticamente o en forma manual. Si el desarenador dispone de limpieza automática, hay que seguir las instrucciones suministradas con el equipo y cuidar de que su lubricación y ajuste sean correctos en todo momento. Si la limpieza ha de hacerse manualmente, hay que tener grandes precauciones con posibles resbalones y con los gases que pueden acumularse en instalaciones cubiertas.

La limpieza manual se lleva a cabo mediante palas de mano. Esta operación se facilita generalmente cuando se cuenta con dos unidades para el desarenado, con lo cual se deja fuera de servicio la que se está limpiando.

- ◆ **Cámaras de grasas.** La separación de grasas de las aguas residuales se verifica en cámara donde se acumulan en superficie las materias de menor densidad, mientras que la corriente de agua se desvía hacia el fondo, desde donde pasa a la unidad siguiente de la planta. De esta forma se van reteniendo en la superficie aceites, grasas, espumas, corchos y otros materiales que flotan en el agua.

La frecuencia en la limpieza de estas cámaras debe ajustarse a la cantidad de materias retenidas, y depende del agua residual propia de cada zona. Es conveniente retirar el material acumulado diariamente y enterrarlo junto a los sólidos provenientes de las otras etapas del pretratamiento.

6.2.2 Limpieza de los medidores de caudal

Las lagunas de estabilización suelen contar con un canal Parshall para la medida de caudal, que puede estar situado a la entrada o a la salida de la planta. Es esencial mantenerlo limpio de acumulaciones de residuos, ya que de lo contrario las lecturas de caudal son erróneas.

Esta limpieza debe efectuarse una vez a la semana, y los sólidos recogidos deben eliminarse en la misma forma descrita para las distintas etapas del pretratamiento.

6.2.3 Limpieza de conducciones y arquetas de reparto

Todas las conducciones del agua residual entre los distintos elementos de la planta de tratamiento por lagunaje deben mantenerse limpias, eliminando para ello los depósitos de materia sólida que puedan ir acumulándose. Estos sólidos deben enterrarse prontamente después de ser retirados de las conducciones.

Las arquetas de reparto deben ser objeto de cuidados especiales, ya que la acumulación de sedimentos en ellas provoca que los caudales que pasan a las lagunas se vayan desviando de los valores de proyecto, con lo que finalmente se provoca el mal funcionamiento de la planta de tratamiento.

La inspección de las arquetas de reparto y las conducciones de entrada y salida a cada laguna deben llevarse a cabo diariamente, para vigilar si existen plásticos, costras, hojas, trapos u otras materias que hayan accedido a la planta de tratamiento y que puedan originar obstrucciones. Como regla general, debe efectuarse la limpieza de estos elementos una vez por semana, siempre que la inspección diaria muestre la presencia de materiales acumulados y después de lluvias.

Si la planta cuenta con aliviaderos para aguas de lluvia, hay que inspeccionarlos regularmente, al menos una vez al mes en tiempo seco, y al final de cada episodio lluvioso, para asegurarse que están libres de obstrucciones y están en condiciones de cumplir su misión correctamente.

6.2.4 Mantenimiento de taludes

Los taludes son los elementos de la planta de tratamiento por lagunaje más sensibles al deterioro y donde éste resulta más visible.

Los cuidados que requieren dependen del material del que estén formados. En principio, las lagunas pueden contar o no con una impermeabilización en función del terreno en el que están construidas.

En lagunas impermeabilizadas con lámina de PVC que resisten la intemperie hay que inspeccionar la cubierta impermeable de los taludes interiores para detectar posibles deterioros y desgarros.

Cuando la impermeabilización se lleva a cabo con una lámina de plástico recubierta con una capa de tierra es fundamental evitar el desarrollo de plantas que puedan perforar esta lámina, y servir de soporte para el desarrollo de mosquitos y otros insectos.

Los taludes de tierra pueden también resultar dañados por animales que construyan sus madrigueras en ellos y por la escorrentía provocada por las lluvias. El operador debe inspeccionar los taludes para detectar señales de erosión, desarrollo de grietas y agujeros causados por animales. Las medidas a tomar son las siguientes:

- Rellenar las grietas con tierra, y de ser posible con arcilla, y seguidamente igualar el terreno y compactarlo.

- Eliminar las malas hierbas que crecen en los taludes, en especial las plantas acuáticas.

- Si por razones estéticas se ha dotado a la planta de tratamiento de jardinería, hay que mantener una distancia mínima de 30 centímetros entre el nivel máximo de agua en las lagunas y las plantas cultivadas en los taludes interiores.

- Si existen zonas arboladas en las proximidades de la planta, hay que impedir el desarrollo de árboles próximos a las lagunas, y nunca deben cultivarse setos alrededor de éstas.

6.2.5 Mantenimiento de caminos y otros elementos de la planta

La planta de tratamiento debe en todos los casos estar rodeada por una reja. Normalmente ésta consiste en una valla metálica, que deja libre acceso al viento. Es importante que la valla no actúe de cortavientos, es decir, hay que evitar las vallas de obra.

El operador debe inspeccionar la valla periódicamente, aproximadamente una vez a la semana, recorriendo todo el perímetro para detectar daños en los postes o el alambre. Los posibles deterioros deben ser arreglados inmediatamente. Es muy importante mantener el recinto bien aislado para impedir la entrada de niños y evitar así posibles accidentes.

Los caminos de acceso a la planta deben mantenerse en buen estado. Si no están asfaltados o al menos dotados de una cubierta de grava deben vigilarse para evitar el crecimiento de malas hierbas y la formación de charcos en períodos de lluvia.

En terrenos arcillosos es conveniente que los caminos tengan un buen acabado, ya que de lo contrario puede quedar cortado el acceso a la planta en tiempo lluvioso. Los caminos interiores deben mantenerse siempre libres de malas hierbas. Si el acabado es de gravilla, hay que mantenerla en buen estado y libre de crecimientos de hierbas.

Si se producen grietas o desperfectos ocasionados por las lluvias hay que repararlos inmediatamente, al igual que en el caso de los taludes.

Cuando la planta de tratamiento se encuentra en la ladera de una montaña se pueden originar arrastres de tierra en época lluviosa, que se acumulan en los caminos y pueden alcanzar las lagunas. Hay que vigilar estos arrastres y eliminarlos tan pronto como se producen. Si es necesario, el operador debe informar a la autoridades competentes sobre la conveniencia de asegurar el terreno de la ladera para evitar estos arrastres.

Casi todas las plantas de tratamiento por lagunaje cuentan con una caseta donde los operarios guardan las herramientas. Si no se dispone de una toma de agua, hay que instalar al menos un depósito de agua limpia

5.2.6 Limpieza de los lodos acumulados en lagunas facultativas

Cuando la instalación no cuenta con lagunas anaerobias, es decir, el agua residual cruda alimenta directamente una laguna facultativa, se produce una acumulación de lodos en el fondo de ésta que hay que eliminar periódicamente. Puesto que las lagunas facultativas son normalmente mucho mayores que las anaerobias, la retirada del lodo se suele hacer paralizando la laguna a limpiar cuando se ha producido una acumulación de 50-100 centímetros de lodo, vaciando el agua almacenada y dejando secar por evaporación el sedimento.

5.3 Medidas higiénicas

A pesar de que el operador sabe perfectamente que está trabajando en una planta de tratamiento de aguas residuales, y que éstas pueden ser un foco infeccioso, es normal que con el paso del tiempo "pierda el miedo" y olvide el carácter de riesgo para la salud que su trabajo puede adquirir si no se toman algunas precauciones básicas.

Precisamente cuando se alcanza este punto, la probabilidad de que surjan accidentes aumenta en gran medida. Por esta razón, es aconsejable colocar en algún lugar bien visible una lista de instrucciones higiénicas que sirvan de recordatorio de que existe un riesgo real que afortunadamente es fácil de prevenir.

Las medidas de seguridad que se enumeran a continuación han sido recomendadas por la Organización Mundial de la Salud para operadores de lagunas de estabilización:

1. La planta de tratamiento debe contar siempre con un depósito de agua limpia, jabón y bandejas. Es aconsejable utilizar toallas desechables de papel, para evitar que debido a la necesidad de transporte para la limpieza de las toallas de tela éstas permanezcan demasiado tiempo sin lavar.
2. La planta de tratamiento debe contar con un botiquín en el que se incluya, como mínimo, gasas, algodón, alcohol, mercromina o similar, una disolución detergente desinfectante, tijeras y pinzas. También es conveniente que el operador disponga de algún líquido repelente para evitar las picaduras de mosquitos u otros insectos.
3. El operador debe disponer de guantes y botas de goma, casco de trabajo y al menos dos overoles. Todas las prendas utilizadas en la planta de tratamiento deben permanecer en ella al finalizar la jornada laboral.
4. Siempre que se vaya a comer a beber, o incluso encender un cigarrillo, hay que lavarse las manos. Si se hace alguna comida en el recinto de la planta, hay que designar un área de ésta para este fin, y evitar en todo momento comer a la vez que se está efectuando alguna labor que pueda ocasionar el contacto de la comida con algún elemento que haya estado en contacto, a su vez, con aguas residuales o lodos. Si es posible, es preferible evitar las comidas en el interior del recinto.
5. Todas las herramientas de trabajo deben limpiarse con agua limpia antes de ser guardadas después de su uso.
6. Los cortes, arañazos y raspaduras que pueda sufrir el operador deben desinfectarse inmediatamente después de que se hayan producido.
7. Si la planta dispone de electricidad, y el operador debe también ocuparse del mantenimiento de equipos eléctricos, debe asegurarse de que sus manos, ropas y calzado están secos. Asimismo, deben disponer de guantes y herramientas dotados de aislamiento eléctrico.

3. La entrada de la reja debe mantenerse cerrada incluso cuando el operador está trabajando en el recinto, ya que éste no puede estar pendiente todo el tiempo de posibles visitas, y existe un riesgo importante de caídas en las lagunas, especialmente para los niños. En este sentido, las lagunas más peligrosas son las anaerobias, porque el lodo del fondo es pegajoso y hace difícil la salida de una persona que se haya caído en ellas. También es importante recordar los riesgos higiénicos para los visitantes si no están suficientemente informados y tocan las arquetas de reparto u otros elementos de la planta.
9. La planta debe contar con una pequeña embarcación, cuerda y salvavidas.
10. El operador debe vacunarse contra el tétanos y fiebre tifoidea, así como otras posibles enfermedades que indiquen las autoridades sanitarias del área. También debe someterse a una revisión médica periódica.
11. Antes de empezar su labor como operador, la persona seleccionada para este trabajo debe recibir instrucción en primeros auxilios.

Tabla 6.1 Medidas de seguridad en lagunas de estabilización

1. Instalar una toma de agua o un deposito de agua limpia, y contar con bandejas, jabón y toallas, preferiblemente desechables.
2. Botiquín con el siguiente contenido:
 - Gasas
 - Algodón
 - Alcohol o agua oxigenada
 - Mercromina o similar
 - Disolución detergente desinfectante
 - Tijeras
 - Pinzas
 - Liquido repelente para insectos
3. Prendas de vestir para el trabajo:
 - Guantes de goma
 - Botas de goma
 - Casco
 - Dos overoles
4. Lavarse siempre las manos antes de comer y comer sólo en áreas específicamente designadas para ese uso.
5. Limpiar las herramientas con agua limpia después de utilizarlas.
6. Desinfectar inmediatamente cualquier herida, corte o abrasión.
7. Secarse cuidadosamente las manos, calzado y ropas antes de manipular equipos eléctricos.
8. Utilizar sólo herramientas especiales con aislamiento en los equipos eléctricos.
9. Desenchufar los equipos eléctricos antes de manipularlos.
10. Disponer de una barca pequeña, cuerda y salvavidas.
11. Vacunarse contra tífus, tétanos y otras enfermedades que recomienden las autoridades sanitarias locales.
12. Recibir instrucción en primeros auxilios.

Fuente: Adaptado de Organización Mundial de la Salud (1987)

3.4 Muestreo de las lagunas

La aplicación de técnicas de muestreo correctas es fundamental en cualquier seguimiento de lagunas de estabilización. De hecho, gran cantidad de estudios de lagunas producen resultados prácticamente inutilizables debido a que las técnicas de muestreo aplicadas han sido defectuosas. A continuación se exponen algunas de las consideraciones a tener en cuenta en relación con los distintos tipos de muestreo, y su frecuencia.

Tipos de muestras

Los tres tipos fundamentales de muestras que pueden tomarse en una laguna de estabilización son los siguientes:

1. **Muestras puntuales.** Son muestras simples, tomadas en un sólo punto de los estanques y en un sólo momento del día. Por ejemplo, para tomar una muestra puntual del efluente de la planta se tendría simplemente que llenar un recipiente con el agua de salida.

En este tipo de muestras es importante registrar cuidadosamente la localización del punto de muestreo y la hora del día a la que se llevó a cabo la toma de muestras. Las muestras puntuales informan sobre el estado de la parte de la instalación muestreada en ese punto y ese momento, por lo que sólo tienen valor con respecto a aquellas variables que no sufren grandes variaciones durante el transcurso del día o la posición en el estanque.

2. **Muestras compuestas.** A diferencia de las muestras puntuales, estas muestras proporcionan información sobre la media diaria de las variables que se analicen.

Para tomar una muestra compuesta hay que combinar varias muestras puntuales tomadas a diferentes horas del día, mezclándolas en proporción directa al caudal que representan.

3. Muestras promedio en profundidad. Como se ha descrito en el capítulo anterior, algunas de las variables más importantes en las lagunas (oxígeno disuelto, algas) presentan cambios muy importantes de concentración en función de la profundidad del estanque a la que se toma la muestra. En estos casos, una estimación adecuada de la variable en cuestión tiene que ir acompañada de la profundidad a la que se verificó la medida.

De igual forma, para el conjunto del estanque hay que suministrar un valor medio que represente dicha variable para la totalidad de la columna de agua. Esto se consigue tomando muestras a varias profundidades y obteniendo la media de los resultados obtenidos. Esta media debe hacerse teniendo en cuenta que el volumen de agua representado por cada profundidad varía en función del talud, siendo máximo en superficie y mínimo en el fondo.

Frecuencia de los muestreos

Con objeto de determinar el comportamiento de las lagunas durante las épocas del año en las que su eficacia es máxima y mínima, se recomienda escoger dos períodos de muestreo que correspondan a los meses más fríos y cálidos.

Los muestreos deben llevarse a cabo con periodicidad semanal durante al menos cinco semanas situadas en la zona central de la época seleccionada (por ejemplo, en enero-febrero y julio-agosto).

Medidas de caudal

La medida del caudal tiene una importancia decisiva para evaluar el comportamiento de las lagunas. No sólo es necesaria para obtener muestras compuestas, sino también para determinar el tiempo de retención del agua en la planta, la carga superficial y volumétrica y la capacidad de tratamiento de la instalación.

Normalmente existe siempre un medidor de caudal a la entrada de la planta. El tipo más habitual es el canal Parshall.

Algunas plantas cuentan con dos medidores de caudal, uno a la entrada y otro a la salida. Disponer de estas dos medidas es muy conveniente, ya que de esa forma se puede calcular las pérdidas por evaporación e infiltración en el terreno.

3.5 Control operativo

El operador de la planta de tratamiento debe efectuar un control diario de las incidencias de las lagunas, con objeto de detectar lo antes posible cualquier problema de funcionamiento y poder así tomar las medidas correctoras correspondientes antes de que se produzcan fallos en el tratamiento.

Este control diario es muy sencillo y se limita a las observaciones que pueden reunirse durante un paseo alrededor de la instalación, que debe realizarse en forma rutinaria a la misma hora del día. Si no es posible efectuar esta inspección diariamente, por lo menos hay que llevarla a cabo una vez a la semana.

Durante esta inspección visual, el operador debe tomar notas relativas a las incidencias siguientes:

- Aparición de espumas y flotantes en distintos puntos de las lagunas. Esta condición puede indicar la presencia de concentraciones elevadas de detergentes en las aguas y resulta perjudicial para la marcha general del tratamiento.

- Acumulación de grasas en las lagunas, aspecto de estas manchas y localización en los estanques. Las películas de grasa en superficie impiden la aireación a través de la interfase y bloquean la entrada de luz en las lagunas, por lo que conviene retirarlas cuanto antes.

- Desprendimiento de lodos desde el fondo de los estanques y acumulación de éstos en la superficie. Esta incidencia también es indeseable, con la excepción de las lagunas anaerobias.

- Coloración de las distintas lagunas.

Es importante consignar la aparición de manchas de distinto color en las lagunas, ya que estas variaciones pueden indicar el principio de desarrollo de microorganismos no deseables. También es muy importante registrar cualquier cambio del aspecto del agua, tal como el desarrollo de turbiedad o apariencia lechosa, coloraciones amarillentas, marrones, rosadas o rojas y aparición de zonas diferenciadas dentro de las lagunas.

Crecimiento de plantas en los taludes o dentro de las lagunas.

Erosión de los taludes por la acción del agua.

Infiltración visible del agua en los taludes, zonas húmedas en la base de los taludes, normalmente acompañado por crecimientos de cañas.

Estado de los caminos de acceso a la planta de tratamiento y de los pasillos interiores entre las lagunas, presencia de barro, deterioro de la cubierta de grava o asfalto.

Estado de la valla que rodea la instalación.

Si la planta dispone de jardinería, condición en que se encuentra ésta, necesidad de reponer ejemplares de plantas, avance de las labores de poda, fumigación, etc.

Estado de los medidores de caudal y arquetas de reparto, acumulación de suciedad o lodos, desequilibrios visibles en los repartos de caudal, presencia de válvulas atascadas.

Si la planta dispone de una caseta donde almacenar las herramientas utilizadas por el operario, consignar el estado de la misma, necesidad de reparaciones, necesidad de reponer utensilios o mejorar de alguna forma la instalación.

Pretratamiento: Condición en que se encuentran las rejas de desbaste, posibles dificultades en la remoción de gruesos, estado de desarenadores, desengrasadores, filtros y sedimentadores, de haberlos.

Presencia de insectos o larvas en las lagunas.

Presencia de aves acuáticas.

Presencia de roedores.

Desarrollo de olores en distintas partes de la instalación.

La tabla 6.2 presenta un modelo orientativo, en el que se recogerían las observaciones diarias resultantes del control operativo.

Tabla 6.2 Formato para el control operativo de las lagunas de estabilización

Fecha:	Hora:					Operador:	Observaciones
	AR	A	F	M	EF		
Caudal.							
Profundidad del agua, m.							
Profundidad lodo, cm.							
Espumas o flotantes.							
Lanchas de grasa.							
Objetos flotantes.							
Coloración.							
Lanchas de colores.							
Plantas de taludes.							
Plantas acuáticas.							
Erosión de taludes.							
Infiltraciones de agua.							
Insectos o larvas.							
Cotófilos, pulgas de agua.							
Roedores.							
Aves acuáticas.							
Olores desagradables.							
Estado de la valla.							
Estado de los caminos.							
Estado del acceso.							
Ret: Rejas							
Ret: Acum. de gruesos.							
Ret: Cámaras de grasa.							
Ret: Medidores caudal.							
Cardenería.							
Baseta.							

AR: Agua residual bruta. ; A: Anaerobia. ; F: Facultativa. ; M: Maduración. ; EF: Efluente final.

Capítulo VII

***Problemas de
funcionamiento de
las lagunas
facultativas.***

Capítulo VII

Las lagunas de estabilización pueden presentar ocasionalmente problemas operativos, que se manifiestan por una serie de síntomas que el operador debe ser capaz de reconocer lo antes posible para tomar las medidas correctoras correspondientes.

En este capítulo se exponen los problemas más comunes que pueden presentarse en lagunas facultativas.

El lagunaje presenta una inercia considerable que le permite encajar variaciones en el caudal y carga aplicada, pero que también provoca que cuando el proceso se ha perturbado sea necesario bastante tiempo para volver a la marcha normal de la instalación. En este sentido, tomar a tiempo las medidas correctoras es fundamental, por lo que una vez más se hace patente la importancia del trabajo del operador.

7.1 Signos visibles del buen funcionamiento de las lagunas facultativas

Los signos visibles del correcto funcionamiento de las lagunas facultativas son los siguientes:

a) El agua debe presentar una coloración verde intensa y estar prácticamente libre de sólidos sedimentables. Estas pueden presentar importantes cantidades de pequeños animales, como pulgas de agua.

Las coloraciones verde-azuladas denotan la presencia de algas verdiazules (cianofíceas), que tienen efectos negativos por su menor productividad y tendencia a la formación de agregados que impiden la correcta iluminación de las lagunas.

b) La superficie del agua debe estar libre de toda materia sólida,

) Ausencia de plantas acuáticas y malas hierbas en los taludes.

7.2 Problemas de funcionamiento

Los problemas operativos más frecuentes en lagunas facultativas son la acumulación de materia flotante, aparición de malos olores, desarrollo de coloraciones rosa o rojo, anomalías de flujo, crecimiento de malas hierbas y plantas acuáticas y desarrollo de mosquitos y otros insectos.

Acumulación de materias flotantes

La superficie de las lagunas facultativas debe estar libre de toda materia flotante que pueda impedir la adecuada iluminación del agua.

Los problemas más frecuentes vienen causados por la formación de costras y la presencia de papeles, plásticos, grasas y aceites que no hayan sido eliminados en el pretratamiento. Todos estos elementos deben ser retirados inmediatamente. A veces se produce la acumulación de agregados de algas en superficie, especialmente después del desarrollo de algas verdiazules en épocas calurosas. Estas acumulaciones superficiales restringen el paso de la luz, y además pueden causar problemas de olores al pudrirse.

Otra posible causa de la aparición de costras en lagunas facultativas poco profundas es la flotación de parte del lodo acumulado en el fondo. Este fenómeno suele producirse cuando la temperatura es elevada y se produce un burbujeo muy activo en el lodo del fondo que lo arrastra hacia la superficie.

Cualquier acumulación de materias sólidas en superficie debe eliminarse lo antes posible, para lo que puede usarse uno de los métodos siguientes:

a) Los agregados de algas pueden romperse mediante un chorro de manguera dirigido hacia ellas desde la orilla de las lagunas, provocando así su sedimentación en el fondo de las lagunas. Si la instalación no dispone de una toma de agua, se puede esperar a que el viento arrastre los agregados hacia uno de los taludes y entonces romper los agregados por medio de un rastrillo, provocando así también su sedimentación.

El mismo método puede utilizarse con los lodos flotantes.

b) Si se dispone de una red como las utilizadas para el mantenimiento de piscinas, ésta puede utilizarse para retirar cualquiera de las materias flotantes una vez que el viento las ha arrastrado hacia la orilla de la laguna.

Olores desagradables

Las razones más frecuentes de la aparición de malos olores en las lagunas facultativas son las siguientes:

1. Sobrecarga.
2. Presencia de tóxicos o efluentes industriales en la alimentación.
3. Periodos prolongados de mal tiempo, con bajas temperaturas e insolación.
4. Cortocircuitos.
5. Reducción en la mezcla inducida por el viento.

La sobrecarga en lagunas facultativas se detecta fácilmente por la disminución en la intensidad de la coloración verde, acompañada por un descenso en la concentración de oxígeno disuelto, pH y la aparición de malos olores. Siempre que se producen problemas de funcionamiento en las lagunas anaerobias hay que esperar que las lagunas facultativas presenten problemas de sobrecarga.

Además de esta causa, otras posibles fuentes de sobrecarga son el diseño deficiente de las arquetas de reparto, que provoca un reparto desigual de caudales, algún vertido estacional que no se tuvo en cuenta en el diseño de la planta o el diseño deficiente de la propia planta.

Las enormes cargas orgánicas propias de estos vertidos superan la capacidad de encaje de las lagunas, y éstas entran rápidamente en condiciones anaerobias, el pH disminuye y desarrollan un color oscuro, casi negro.

La presencia de tóxicos en la alimentación provoca que las lagunas que estaban operando correctamente dejen de hacerlo súbitamente y sin razón aparente. Cuando esto ocurre, el operador debe notificarlo al laboratorio donde se efectúe el seguimiento analítico, con el propósito de identificar los productos químicos causantes del problema.

Los cortocircuitos pueden detectarse mediante la medida de oxígeno disuelto en varios puntos de la laguna. Las lecturas muy desiguales pueden ser indicativas de esta anomalía en el régimen de flujo.

La reducción en la mezcla inducida por el viento puede deberse al crecimiento de árboles, la instalación de una valla de obra alrededor de la instalación o el levantamiento de edificios que bloqueen el viento en la laguna afectada.

Cuando el operador se encuentra ante una laguna facultativa que presenta problemas de olores, el primer paso a seguir es tratar de identificar la causa de este fenómeno. Una vez aislada la causa probable se han de tomar medidas correctoras. Las soluciones a las distintas causas apuntadas son las siguientes:

1. Sobrecarga. Si se dispone de más de una laguna facultativa y el problema de olores se presenta sólo en una de ellas, puede tratarse de un desequilibrio en el reparto de caudales.

En primer lugar conviene paralizar la laguna afectada, para lo que habrá que hacer un by-pass de parte de la alimentación. Dependiendo de las condiciones climáticas en ese momento, la recuperación de la laguna puede conseguirse entre unos días hasta un mes. Este tiempo de espera debe aprovecharse para realizar las obras necesarias en la arqueta de reparto para corregir el caudal que entra en la laguna afectada.

Tan pronto como ésta se haya recuperado, lo que se pondrá de manifiesto por el color verde brillante del agua, se comenzará a operar normalmente en régimen continuo.

Si la sobrecarga está causada por vertidos estacionales, la primera medida a tomar es efectuar un by-pass de la planta de tratamiento hasta que se localicen las fuentes de estos efluentes y se tomen medidas al respecto.

Dependiendo de la gravedad de la sobrecarga, las lagunas pueden recuperarse pronto o pasar bastante tiempo en mal estado.

Si la sobrecarga se debe a un problema de diseño de las plantas, la única solución posible es intentar recircular parte del efluente a la entrada de las lagunas facultativas. Esto requiere la instalación de bombas, lo que no siempre es posible, ya que muchas plantas de lagunaje no tienen instalación eléctrica.

2. Presencia de tóxicos en el efluente. En este caso es conveniente hacer un by-pass a la planta mientras se averigua el origen del vertido causante de las anomalías. Normalmente, en pueblos pequeños es relativamente fácil encontrar al culpable. Una vez localizado, las autoridades competentes deben de exigir el tratamiento de estos vertidos antes de su entronque con la red de alcantarillado, o en el peor de los casos la construcción de un by-pass que los segregue, evitando así su acceso a la planta de tratamiento.

3. Mezcla deficiente debida a árboles, vallas o edificios. Siempre que el obstáculo que impide el libre acceso del viento a las lagunas sea eliminable, debe ser eliminado prontamente.

No se debe permitir el crecimiento de árboles cerca de las lagunas. La valla que rodea la instalación debe ser de tela metálica, nunca de obra. Cuando el viento queda bloqueado por edificios, laderas de montaña u otros obstáculos de carácter permanente, debe considerarse la instalación de agitación artificial (aireadores de superficie), aunque se trata de una medida costosa y de mantenimiento complicado.

Cortocircuitos o caminos preferenciales

Las anomalías de flujo en las lagunas provocan siempre una disminución en la eficacia del tratamiento. Cuando estas anomalías son graves, pueden dar lugar a problemas de olores, baja calidad del efluente, y en general poca eficacia del tratamiento. Los cortocircuitos están causados por diversos motivos:

- a) Deficiente diseño de las entradas y salidas, morfología poco adecuada de las lagunas o vientos dominantes que provocan corrientes que no se tuvieron en cuenta en el proyecto.
- b) Desarrollo de estratificación.
- c) Presencia de plantas acuáticas en el interior de las lagunas.
- d) Acumulación de lodos en el fondo, en especial en lagunas facultativas primarias.

Como se mencionaba en el apartado anterior, la presencia de cortocircuitos puede detectarse mediante la medida de oxígeno disuelto en varios puntos en la superficie de la laguna. Las diferencias acusadas son un síntoma de este problema. Cuando la causa es la estratificación térmica, ésta puede detectarse mediante la medida de perfiles verticales de temperatura en varios puntos de la laguna.

Las posibles medidas a tomar para corregir este problema son las siguientes:

- a) Rediseñar las entradas y salidas de la laguna, con objeto de obtener una mejora en el régimen de flujo. En este proceso debe tenerse en cuenta el régimen de viento, y reorganizar la posición de la alimentación y el desagüe para que los vientos dominantes sean perpendiculares al eje principal de flujo.
- b) Intentar romper la estratificación térmica mediante la colocación de entradas y salidas en profundidad, mejorando así la mezcla en la laguna.
- c) Eliminar las plantas acuáticas.
- d) Retirar los depósitos de sedimentos acumulados en el fondo.

Crecimiento de malas hierbas y plantas acuáticas

El crecimiento de plantas acuáticas da lugar a la proliferación de insectos. Además, la presencia de insectos y larvas de éstos atrae a las ranas, que a su vez atraen a los roedores, y éstos a las serpientes. Si las plantas acuáticas no se retiran periódicamente, pueden incluso comprometer la seguridad de las lagunas, ya que los roedores excavan túneles por los que se producen filtraciones.

El crecimiento de plantas acuáticas puede afectar a la totalidad de la superficie de la laguna cuando la profundidad de éstas es inferior a un metro. Normalmente las lagunas facultativas tienen entre 1-1.5 metros de profundidad, por lo que el crecimiento de estas plantas queda restringido a los taludes.

Las malas hierbas que crecen sobre la parte seca de los taludes producen una fuerte impresión de desidia y abandono. Además, si alcanzan la superficie del agua las ramas pueden servir también de soporte para el desarrollo de insectos.

Desarrollo de mosquitos y otros insectos

Las lagunas de estabilización no presentan problemas de desarrollo de insectos mientras se conserve libres de plantas acuáticas u otros soportes para las larvas (como ramas secas y costras). La solución es mantener siempre libre de plantas los taludes y evitar que caigan plantas o ramas a las lagunas.

7.3 Solución al problema de funcionamiento

A continuación se presenta la tabla 7.1 en la que aparecen los síntomas del mal funcionamiento con su respectiva solución en plantas de tratamiento por medio de lagunas facultativas.

Tabla 7.1 Problemas de funcionamiento

Síntoma	Causa	Solución
Acumulación de materias flotantes en superficie.	- Formación de costras debida a la acumulación de algas en superficie, especialmente después de épocas muy calurosas.	- Promover la sedimentación de los agregados de algas o el lodo usando una manguera, si hay una toma de agua, o un rastrillo una vez que el viento haya arrastrado los sólidos hacia la orilla.
	- Flotación del lodo del fondo en épocas muy calurosas.	- Eliminar los agregados o los lodos mediante una red de limpieza de piscinas.
	- Acumulación de papeles, plásticos o grasas que no hayan sido retirados en el pretratamiento.	- Eliminar todas las materias flotantes mediante red.
Color rosa o rojo (bacterias del azufre).	- Sobrecarga.	- Aumentar el número de módulos en servicio. - Mejorar la distribución de caudales en las arquetas de reparto.
Olores desagradables.	- Sobrecarga por vertidos estacionales incontrolados.	- Si la sobrecarga se debe a un diseño deficiente, recircular parte del efluente. - Paralizar la planta hasta que cese el vertido (by-pass). - Renovar el agua de cada laguna mediante la introducción de todo el caudal de entrada a la planta durante un tiempo equivalente al doble del tiempo de residencia hidráulica (V / Q).
	- Tóxicos en el agua residual.	- Paralizar la planta hasta que se localice el vertido responsable (by-pass).
	- Periodos prolongados de mal tiempo.	- Poner más módulos en servicio.
	- Reducción en la mezcla inducida por el viento.	- Eliminar todos los obstáculos (vallas de obra, árboles). - Si los obstáculos no son eliminados (montes, edificios), considerar la instalación de aireadores.

Tabla 7.1 Problemas de funcionamiento (continuación)

Síntoma	Causa	Solución
Olores desagradables.	- Cortocircuitos.	- Identificar las causas y aplicar las soluciones mencionadas de los siguientes síntomas.
Anomalías de flujo.	- Localización deficiente de entradas y salidas.	- Rediseñar las entradas y salidas, teniendo en cuenta el régimen de vientos.
	- Morfología deficiente de las lagunas.	- Instalación de entradas y salidas múltiples.
	- Corrientes inducidas por el viento.	- Colocación de alimentación y desagüe de forma que los vientos dominantes sean perpendiculares al eje principal de flujo.
	- Desarrollo estacional de estratificación térmica.	- Colocación de entradas y salidas a varias profundidades para romper la estratificación térmica.
	- Presencia de plantas acuáticas.	- Eliminación de todas las plantas acuáticas.
Presencia de mosquitos u otros insectos.	- Acumulación de lodos en lagunas facultativas primarias.	- Retirar los depósitos de lodos del fondo.
	- Crecimiento de plantas acuáticas.	- Eliminación de todas las plantas acuáticas u otros posibles soportes para las larvas.
Crecimiento de plantas acuáticas y malas hierbas en los taludes.	- Crecimiento de plantas acuáticas y malas hierbas en los taludes.	- Eliminación de todas las plantas en los taludes internos; eliminar o recortar las malas hierbas en los taludes externos.

Capítulo VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Capítulo VIII

3.1 Conclusiones

Realizado el trabajo es posible concluir que:

- 1) Es importante tener un análisis completo del agua residual a tratar, con el propósito de diseñar su tratamiento y anticipar posibles problemas derivados de la composición del agua residual.
- 2) El objetivo perseguido en las lagunas facultativas, es obtener un efluente de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica y una reducción en el contenido en nutrientes y bacterias coliformes.
- 3) La eliminación de microorganismos patógenos es muy superior a la alcanzada mediante otros métodos de tratamiento.
- 4) Este método puede utilizarse para tratamiento de aguas residuales industriales con altos contenidos de materias biodegradables, tales como; los vertidos de centrales lecheras, mataderos y empresas conservadoras.
- 5) Este tratamiento puede ajustarse fácilmente a las necesidades de la población en distintas situaciones.
- 6) El consumo energético de las lagunas facultativas es nulo, solo en el caso de que el agua residual deba ser bombeada para que alcance la planta.
- 7) Dado que la actividad de algas y bacterias es el fundamento del tratamiento del agua residual almacenada, cualquier variable ya sea climática, física, química o bioquímica que afecte esta actividad repercutirá en el tratamiento.
- 8) Tiene bajo costo de instalación y mantenimiento.

- l) El mantenimiento de las lagunas facultativas o de cualquier tipo de laguna, se centra en dos aspectos fundamentales:
 - a) Cuidado de la obra civil
 - b) Detección de problemas de funcionamiento y adopción de medidas correctoras.
- 0) El trabajo del operador es importante dado que es el responsable de posibles amenazas a la salud pública que puedan derivarse de un mantenimiento incorrecto de la planta.
- 1) Es fundamental reconocer lo antes posible los problemas operativos que se puedan presentar ocasionalmente para tomar a tiempo las medidas correctoras.
- 2) El tratamiento basado en lagunas facultativas es una alternativa viable para tratar las aguas residuales de nuestro país. Dado que se presentan las condiciones climáticas favorables, el área territorial apropiada y la infraestructura necesaria para proporcionar un funcionamiento eficiente y satisfactorio.

3.2 Recomendaciones

Las recomendaciones que se tiene para este trabajo son:

- 1) Es indispensable que las autoridades competentes exijan el cumplimiento de las disposiciones legales vigentes, que van encaminadas al control y conservación del medio ambiente, en especial al tratamiento y reuso del agua, así como sancionar a quien haga caso omiso del marco legal.
- 2) Es importante seguir promoviendo la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales, en especial, el sistema a base de lagunas de estabilización, ya que en localidades urbanas y regiones industriales evitarían trastornos ecológicos o desequilibrios en la capacidad natural de autodepurado de los cuerpos de agua.

- 3) El mantenimiento de la planta de tratamiento en buenas condiciones debe ser uno de los objetivos fundamentales del operador. Al igual que ocurre con cualquier instalación, si no se cuida diariamente que este limpia y se va reparando los desperfectos a medida que se van produciendo, en poco tiempo la planta se deteriora y envejece.
- 4) Instruir al operador de que su trabajo es importante para la comunidad y de que es responsable de posibles amenazas a la salud pública que puedan derivarse de un mantenimiento incorrecto de la planta de tratamiento.
- 5) El costo del mantenimiento de la planta de tratamiento no debe exceder el presupuesto del ayuntamiento u organismo responsable de la gestión de las instalaciones, con el fin de reparar los problemas que vayan surgiendo en la planta de tratamiento.

ANEXO A

***Procedimiento para la
obtención de las
principales
características de las
aguas residuales***

ANEXO A

Enseguida se describen las técnicas de análisis del laboratorio.

A.1 Fijación del Oxígeno Disuelto

a) Material y equipo.

Botella Winkler de 300 ml	
Reactivo sulfato manganoso	2 ml
Reactivo álcali - yoduro - nitruro	2 ml
Reactivo ácido sulfúrico concentrado	2 ml

b) Muestreo.

1. Destapar el frasco bajo la superficie del agua, tomar la muestra y tapar el frasco.
2. Verificar que no existan burbujas de aire atrapado y que no haya estado en contacto con el aire.

c) Procedimiento.

1. Agregar 2 ml de sulfato manganoso y 2 ml de álcali - yoduro - nitruro. La pipeta debe penetrar 5 mm en el seno del agua.
2. Una vez agregado el álcali - yoduro - nitruro se agita la muestra y se permite sedimentar el precipitado.
3. Agregar 2 ml de ácido sulfúrico concentrado y agitar por inversión, con lo cual se termina la fijación del oxígeno.

d) Resultados.

Si después de agregar las sustancias el agua es blanca, indica que no hay oxígeno disuelto, pero si es café si existe.

A.2 Determinación del Oxígeno Disuelto.

a) Material y equipo.

Bureta conteniendo tiosulfato de sodio	0.025 N
Almidón	
Agua residual con oxígeno disuelto fijo	200 ml

b) Procedimiento.

1. Tomar 200 ml del frasco de muestra donde se haya fijado el oxígeno.

ANEXO A. PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

1. Titular con una solución valorada de tiosulfato de sodio 0.025 N usando almidón como indicador hasta que sea incoloro.

c) Resultados.

Si se toman 200 ml de muestra, los mililitros gastados de éste último son los mg/l de Oxígeno Disuelto.

A.3 Preparación del agua de dilución.

a) Material y equipo.

Agua destilada, saturada	
Solución amortiguadora	1 ml / l
Sulfato de magnesio	1 ml / l
Cloruro de calcio	1 ml / l
Cloruro férrico	1 ml / l

b) Procedimiento.

1. Airear el agua destilada hasta la saturación.
2. Agregar 1 ml de solución amortiguadora, 1 ml de sulfato de magnesio, 1 ml de cloruro de calcio y 1 ml de cloruro férrico, por cada litro de agua de dilución por preparar.

A.4 Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

a) Material y equipo.

Botella Winkler 300 ml	
Probeta 1 000 ml	
Incubadora a 20 °C durante 5 días	
Almidón	
Agua residual con oxígeno disuelto fijo	200 ml
Agua de dilución	

b) Procedimiento

1. Se vierte el agua de dilución, sin arrastrar aire, a la probeta y se agrega la muestra de acuerdo al grado de dilución requerido. Considerando el origen de las aguas residuales se recomienda las siguientes diluciones.

CASO	DILUCIÓN SUGERIDA
Agua residual industrial	0.1% - 1.0%
Agua residual municipal	1.0% - 5.0%
Agua residual tratada	5.0% - 25%
Aguas naturales	25% - 100%

2. Se vierte la dilución mezclada a dos frascos, uno para incubación y otro para determinar el Oxígeno Disuelto inicial.

3. Al quinto día se mide el Oxígeno Disuelto de la muestra incubada.

c) Resultados.

Para obtener la demanda bioquímica de oxígeno se emplea el oxígeno disuelto como indicador de manera que:

$$DBO_5 = \frac{OD_i - OD_f}{p} \left[\text{mg/l} \right]$$

donde: DBO_5 : Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días.
 OD_i : Oxígeno Disuelto inicial.
 OD_f : Oxígeno Disuelto final.
 p : Por ciento de dilución expresado en decimales.

A.5 Determinación de los sólidos sedimentables.

a) Material y equipo.

Cono Imhoff de 1 litro
Soporte o gradilla para sostener los conos
Agua destilada

b) Procedimientos.

1. Lavar el cono con jabón y agua caliente, mojarlo antes de usarlo para evitar que los sólidos se adhieran a las paredes.
2. Verter suavemente 1 litro de muestra bien mezclada en el cono y dejarla reposar durante una hora.
3. Después de 45 minutos gire suavemente el cono para que se desprendan los sólidos que se hayan adherido a las paredes.
4. Déjese sedimentar 15 minutos más.
5. Léase con las graduaciones, el volumen del material depositado.

c) Resultados.

Los sólidos sedimentables se expresan en ml de sólidos por litro en una hora. Si las muestras representan el influente y el efluente de un tanque, puede calcularse la eficiencia del tanque de la siguiente manera:

$$\frac{[ml \text{ sólidos influente} - ml \text{ sólidos efluente}]}{ml \text{ sólidos influente}} \times 100 = \% \text{ de sólidos sedimentables eliminados}$$

A.6 Determinación de los sólidos suspendidos totales (SST), los sólidos suspendidos fijos (SSF) y los sólidos suspendidos volátiles (SSV).

a) Material y equipo.

Mechero de gas con tripié y triángulos o un horno eléctrico (Mufia)
Estufa a 150 °C
Filtro de fibra de vidrio o, en su defecto, cápsulas de porcelana de 100 ml
Desecador
Balanza analítica con marco de pesas
Probeta graduada de 100 ml
Agua destilada

b) Procedimiento.

1. Llevar los filtros a peso constante en una mufia a 550 °C y enfríese en el desecador.
2. Enjuagar un filtro de fibra de vidrio con agua destilada, secarlo en la estufa a 103 °C Y Pesarlo (P_1).
3. Midanse 100 ml de la muestra bien mezclada en la probeta graduada.
4. Pasar la muestra de la probeta a través del filtro. Los sólidos disueltos pasan por el filtro y los suspendidos se retienen.
5. Secar el filtro en estufa a temperatura de 103 - 105 °C
6. Enfriar a temperatura ambiente y pesar el filtro (P_2). Con esta información se obtienen los sólidos suspendidos totales.
7. Colocar el filtro con los sólidos suspendidos en una mufia a 550 °C por 15 minutos. Los sólidos volátiles se calcinan.
8. Enfriar a temperatura ambiente en un desecador y pesar el filtro (P_3).

c) Resultados.

La concentración de los sólidos suspendidos totales (SST) Y volátiles (SSV) del agua se obtienen como:

$$SST = (P_2 - P_1) / \text{Volumen de muestra} = [\text{mg} / \text{l}]$$

$$SSF = P_3 / \text{Volumen de muestra} = [\text{mg} / \text{l}]$$

$$SSV = (P_2 - P_3) / \text{Volumen de muestra} = [\text{mg} / \text{l}]$$

A.7 Determinación de coliformes fecales.

a) Material y equipo.

Esterilizador de autoclave
Incubadora
Equipo de filtración, bomba de vacío, recipiente de filtración al vacío y unidad portafiltro
Cajas Petri
Filtros de membrana de 0.45 μm de porosidad
Cojines absorbentes
Medio de cultivo con: carbono, nitrógeno, azufre, fósforo y sales minerales

b) Muestreo.

- . Emplear frascos esterilizados y que contengan tiosulfato para destruir el cloro residual.
- . Destapar el frasco bajo la superficie del agua, tomar la muestra y tapar el frasco.
- . Verificar que no existan burbujas de aire atrapado y que la muestra no haya estado en contacto con el aire.

c) Procedimientos.

- . Limpiar el lugar de trabajo y rotular las cajas petri.
- . Colocar el cojín absorbente en la caja petri y vaciar el medio de cultivo (ampolletas de 2 ml).
- . Realizar las diluciones (si se requieren) y colocar un filtro con la retícula hacia arriba en la unidad de filtración.
- . Filtrar la muestra al vacío.
- . Retirar el filtro de membrana y colocarlo con la retícula hacia arriba sobre el cojín absorbente dentro de la caja petri.
- . Se invierten las cajas petri y se incuban a 35 °C de 18 a 22 horas.
- . Se cuentan el número de colonias de coliformes fecales, que son las adquieren un color rosa o rojo con un lustre verde - oro o metálico en su superficie.

d) Resultados.

El número de colonias de coliformes fecales por 100 ml de agua residual se obtiene como:

$$\text{No. de colonias fecales / 100 ml} = \text{No. colonias} \times \text{factor de dilución}$$

A.8 Sulfatos.

a) Material y equipo.

Espectrofotómetro
Frasco de mezclado
Bario

b) Procedimiento.

- . Estandarizar el espectrofotómetro con filtro azul y ajustar a 420 nm.
- . Introducir la celda vacía y ajustar con el botón izquierdo a 0% de transmitancia.
- . Introducir la celda con agua de muestra sin tratar y calibrar a 100% de transmitancia con el botón derecho.
- . Llenar el frasco con agua de muestra hasta 10 ml, agregar bario, agitar varias veces y esperar 10 minutos.
- . Introducir la celda con agua de muestra tratada y leer la absorbancia.

c) Resultados.

Si después de esperar 10 minutos se observa que la muestra con bario toma un color blanco, significa que si existen sulfatos, por lo que con la lectura de la absorbancia se entra a la curva patrón y obtiene la concentración de sulfatos.

A.9 Potencial de Hidrógeno (pH).

a) Procedimiento.

El pH de las aguas se mide empleando papeles de pH que cambian de color a determinados valores de pH.

b) Resultados.

El color del papel se compara con el color de series normalizadas.

En la tabla A.1 se presentan los intervalos de tiempo de almacenamiento, preservación y el volumen de muestra requerido para realizar el análisis de las principales características del agua residual.

Tabla A.1 Tiempo de almacenamiento, preservación y volumen de muestras

PARAMETRO	TIEMPO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO	TIPO DE ENVASE	PRESERVATIVO	VOLUMEN REQUERIDO
Conductividad Alcalinidad Olor Especificidad gravimétrica Temperatura ambiente Dureza	Ninguno	---	Determinar "in situ" o campo.	
Cinco grados de acidez	Ninguno	Vetro oscuro	Determinar "in situ" o fijar en campo y refrigerar a 4°C	500 ml
Dureza total y específica de calcio y magnesio	5 días			
Acidez, alcalinidad, bromato y otros residual, selenio, cianuro, cianuro residual, total, sulfuro, nitrato, nitrato sedimentable, nitrato residual, amoníaco y metano (4.4M, 4.8M)	24 hrs.	P. V.	Refrigeración a 4°C	1000 ml
Cloruro, cianuro, fluoruro, nitrito y nitro en todas sus formas, cloratos.	7 días			
Metalos pesados solubles y sedimentables (incluyendo arsénico, mercurio y selenio)	14 días	P. V.	HNO ₃ a pH = 5 (ml)	100 ml
Materia disuelta y particulada aséptica, inorgánica y orgánica	11 días	P. V.	Filtrar en campo (0.45 μm) a pH = 2 (5 ml)	200 ml
Contaminantes <i>Ver material de apoyo</i>	3 hrs. 3 días	P. V.	Filtrar en campo y refrigeración a 4°C	200 ml
Carbonato, cianuro, fosfatos, sulfuro residual, nitrato, amoníaco y ácido, cloruro y sulfuro	24 hrs.	P. V.	H ₂ SO ₄ a pH = 2 Refrigeración a 4°C	1000 ml
Determinación de amoníaco (NH ₃) Grasas y aceites	7 días 24 hrs.	N		
Sulfuros	24 hrs.	N	H ₂ O ₂ a pH = 0 CuSO ₄ 1 g/l Refrigeración a 4°C	500 ml
Plaguicidas	24 hrs.	V. ámbar y oscuro/bosque	Refrigeración a 4°C	1000 ml
Residuos farmacéuticos	6 hrs.	V. oscuro/bosque	Refrigeración a 4°C	100 ml
Urea y urea	24 hrs.	P. V.	NaOH a pH = 12 Refrigeración a 4°C	500 ml
Sulfuros	24 hrs.	N	Acido clorhídrico 1N 5ml Refrigeración a 4°C	500 ml

Nota: *Ver material de apoyo* y el procedimiento de toma y manejo de muestras (P. V.)

Los ambientes que contienen al menos 25% de agua en la muestra deben ser sometidos a un posterior filtrado en campo para fijar la muestra a una temperatura de 4°C por 24 hrs.

P. = Plástico; N = vidrio; V = Vidrio

V. Vidrio

ANEXO A. PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

A continuación se presenta un formato para reportar los resultados del análisis de las aguas residuales.

Instituto de Ingeniería, UNAM Coordinación de Bioprocesos Ambientales		Fecha: _____ Hoja No. _____	
		Planta de tratamiento: _____	
		Muestreador: _____	
		Localización del sitio de muestreo: _____	
		Hora de inicio de muestreo: _____	
		Hora de terminación de muestreo: _____	
		Laboratorista: _____	
		Estado No.: _____	

Muestra	Puntual	Compuesto	Unidad
Agua: _____	fuente: _____	Eluyente: _____	
Gasto: _____ Vs _____			
		Temperatura ambiental: _____	°C
<input type="checkbox"/> OD	_____ mg/l	<input type="checkbox"/> Grasas y aceites	_____ mg/l
<input type="checkbox"/> DBD	_____ mg/l	<input type="checkbox"/> Turbiedad	_____ mg/l
<input type="checkbox"/> DQO	_____ mg/l	<input type="checkbox"/> Sólidos sediment.	_____ mg/l
<input type="checkbox"/> SST	_____ mg/l	<input type="checkbox"/> Plaguicidas	_____ mg/l
<input type="checkbox"/> SDT	_____ mg/l	<input type="checkbox"/> Fósforo total	_____ mg/l
<input type="checkbox"/> pH	_____ U	<input type="checkbox"/> Arsénico	_____ mg/l
<input type="checkbox"/> Colif. Tot.	_____ NMP/100ml	<input type="checkbox"/> Cadmio	_____ mg/l
<input type="checkbox"/> Colif. Fec.	_____ NMP/100ml	<input type="checkbox"/> Cianuro	_____ mg/l
<input type="checkbox"/> Color	_____ Pt-Co	<input type="checkbox"/> Cobre	_____ mg/l
<input type="checkbox"/> Temperatura	_____ °C	<input type="checkbox"/> Cromo	_____ mg/l
<input type="checkbox"/> Materiales Totales	_____ mg/l	<input type="checkbox"/> Mercurio	_____ mg/l
<input type="checkbox"/> SAAM	_____ mg/l	<input type="checkbox"/> Níquel	_____ mg/l
<input type="checkbox"/> Conductividad eléctrica	_____ mS/m	<input type="checkbox"/> Plomo	_____ mg/l
<input type="checkbox"/> Alcalinidad	_____ mg CaCO ₃ /l	<input type="checkbox"/> Zinc	_____ mg/l
<input type="checkbox"/> Acidez	_____ mg CaCO ₃ /l	<input type="checkbox"/> Cloruros	_____ mg/l
<input type="checkbox"/> Nitrogeno total	_____ mg/l	<input type="checkbox"/> Cloroformo	_____ mg/l
<input type="checkbox"/> Benceno	_____ mg/l	<input type="checkbox"/> Fenoles	_____ mg/l

Observaciones: _____

Fecha de entrega de este reporte: _____

Muestreador: _____	Laboratorista: _____	Vc. del supervisor: _____
--------------------	----------------------	---------------------------

ANEXO B

***Norma Oficial Mexicana
NOM-001-ECOL-1996***

ANEXO B

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996

La NOM-001-ECOL-1996 se publicó el 6 de Enero de 1997 y busca ajustar la normatividad a las necesidades del cuerpo receptor y al impacto global de la descarga de agua residual por medio de tres límites de descargas (A, B y C). Su objetivo es establecer los límites máximos permisibles de contaminantes para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, con la finalidad de proteger su calidad y posibilitar su uso.

1.1 DEFINICIONES. En esta norma se establecen las definiciones siguientes:

Condiciones particulares de descarga. Conjunto de límites máximos permitidos en los parámetros físicos, químicos y biológicos de las descargas de agua residual establecidos por la CNA para un determinado uso o grupo de usuarios o un cuerpo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas.

Muestra compuesta. Resulta de mezclar varias muestra simples según la Tabla B.1. Para formar una muestra compuesta, el volumen de cada muestra simples debe ser proporcional al caudal de la descarga al tomarla.

TABLA B.1 Frecuencia de muestreo para conformar muestras compuestas

HORAS POR DIA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	NUMERO DE MUESTRAS SIMPLES	INTERVALO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (Hrs)	
		MINIMO	MAXIMO
Menor que 4	Mínimo 2	-	-
De 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

Muestra Simple. Se tome en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para complementar cuando menos, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento del muestreo. El volumen necesario de cada muestra simple para formar la muestra compuesta se determina con la ecuación:

$$VMS_i = VMC (Q_i / Q_t)$$

Donde:
 VMS_i : Volumen de cada muestra simple "i", (l)
 VMC: Volumen de muestra compuesta necesario para realizar los análisis de laboratorio requeridos, (l)
 Q_i: Caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, (l/s)
 Q_t: Q₁ hasta Q_n, (l/s)

Promedio diario (P.D.). Es el valor que resulta del análisis de una muestra compuesta.

Promedio mensual (P.M.). Es el valor que resulta de calcular el promedio ponderado, en función del caudal, de los valores que resultan del análisis de al menos dos muestras compuestas (Promedio diario).

3.2 ESPECIFICACIONES.

La concentración de contaminantes para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales no debe de exceder los valores indicados en la Tabla B.2.

Al entrar esta norma en vigor, se abrogaron de la NOM-001-ECOL-1993 a la NOM-033-ECOL-1993 y de la NOM-063-ECOL-1994 a la NOM-073-ECOL-1994. Su cumplimiento corresponde a la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca por conducto de CNA y a la Secretaría de Marina en sus respectivas atribuciones

TABLA B.2 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS Y TÓXICOS

PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RIOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES						AGUAS COSTERAS						SUELO				HUMEDAL NATURAL (B)
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (C)		Uso en riego agrícola (A)						
	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	
Temperatura °C (1)	NA	NA	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	NA	NA	40	40		
Grasas y aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	
Materia flotante (3)	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	
Sólidos sedimentables (mil/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	NA	NA	1	2	
Sólidos suspendidos totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	100	175	75	125	75	125	NA	NA	75	75			
Demanda bioquímica de oxígeno total	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	100	200	75	150	75	150	NA	NA	75	150			
Nitrógeno total Kjeldahl	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	NA	NA	NA	NA	15	25	NA	NA	NA	NA			
Fósforo total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	NA	NA	NA	NA	5	10	NA	NA	NA	NA			
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2			
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.005	0.1	0.1	0.2			
Cianuro	2	3	1	2	1	2	2	3	1	2	2	2	2	3	1	2	2	3	1	2			
Cobre	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6			
Cromo	1	1.5	0.5	1	0.5	1	1	1.5	0.5	1	0.5	1	1	1.5	0.5	1	0.5	1	0.5	1			
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01			
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4			
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4			
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20			

** El rango permisible del potencial de hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades, el límite máximo permisible de coliformes fecales para descargas de aguas residuales es de 1,000 y 2,000 NMP/100ml para el promedio mensual y diario, respectivamente. Además, el límite máximo de parásitos es 1 huevo por litro para riego restringido, y de 5 para riego no restringido

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006

(*) Medidos de manera total

P.D. = Promedio Diario

P.M. = Promedio Mensual

N.A. = No es aplicable

(A),(B) y (C) : Tipo de cuerpo receptor según la ley Federal de Derechos

GLOSARIO

Absorción: Fenómeno de penetración de un componente dentro de una masa de otro.

Adsorción: La adherencia de sólidos disueltos, coloidales o finamente divididos, a la superficie de cuerpos sólidos, con los cuales han sido puestos en contacto.

Aeración: Poner en íntimo contacto con el aire un líquido, por medio de uno de los métodos siguientes: dispersando el líquido en el aire o agitándolo para promover la absorción superficial de aire.

Aerobio: Microorganismo que necesita de oxígeno para subsistir.

Agua potable: Agua exenta de contaminación objetable, minerales e inocua, y que se considera satisfactoria para el consumo doméstico.

Agua residual: En su acepción más amplia, el agua suministrada a una población, que habiéndose aprovechado para diversos usos, ha quedado impurificada. Desde el punto de vista de su origen, es una combinación del líquido o desechos arrastrados por el agua de las casas habitación, edificios comerciales e instituciones, con los procedentes de los establecimientos industriales a los que se agregan las aguas subterráneas, las superficiales y las de lluvia, nieve, etc.

Algas: Vegetales rudimentarios, de una o varias células, usualmente acuáticas y capaces de elaborar sus propios alimentos por fotosíntesis.

Anaerobio: Microorganismo que no necesita para vivir el oxígeno del aire.

Anaerobiosis: Capacidad que poseen algunos organismos para vivir sin oxígeno.

Anión: Cada uno de los iones negativos que forman los ácidos y las sales.

Autopurificación: El proceso natural de purificación de una masa de agua, en movimiento o en reposo, en virtud del cual disminuye el contenido de bacterias y se satisface la mayor parte de la DBO; la materia orgánica que contiene es estabilizada y el contenido de oxígeno disuelto vuelve a su concentración normal.

Autótrofos: Organismo que se nutren sólo de sustancias orgánicas.

Bacterias: Vegetales rudimentarios, generalmente no pigmentados, los cuales se producen por división en uno, dos o tres planos. Se encuentran como células aisladas, en grupos, en cadenas o filamentos y no requieren luz para su proceso vital. Pueden desarrollarse en medios de cultivo especiales fuera de su hábitat natural.

Aerobias: Bacterias que requieren oxígeno libre (elemental) para su desarrollo.

Anaerobias: Bacterias que se desarrollan en ausencia de oxígeno libre y que extraen oxígeno, de las sustancias complejas, al descomponerlas.

Facultativas: Son bacterias que se adaptan por si mismos, al desarrollo tanto en presencia, como en ausencia, de oxígeno no combinado.

Grupo coliforme: Grupo de bacterias, que habitan predominantemente en el intestino del hombre, pero que también se encuentran en los vegetales, incluyéndose todos los bacilos aerobios / facultativos Gram-negativos, que no esporulan y fermentan la lactosa desprendiendo gases.

Parásitas: Bacterias que medran en otros organismos vivientes.

Patógenas: Bacterias que pueden causar enfermedades.

Saprotitas: Bacterias que medran sobre materia orgánica muerta.

Biodegradable: Las sustancias susceptibles de ser atacadas por los seres vivos, principalmente microorganismos.

Biomasa: Nombre aplicado a la masa de todos los seres vivos (cantidad total de materia viva) presente en una extensión determinada de un sistema cerrado.

Bioquímica: La resultante de una actividad o desarrollo biológico y medida o expresada en función de los cambios químicos experimentados.

Catión: Ion positivo de bases y sales.

Célula: Elemento fundamental de los vegetales y animales.

Cilios: Sirve para efectuar los desplazamientos del microorganismo, son menores que los flagelos.

Cladóceros: Llamados comúnmente pulgas de agua, tienen el cuerpo corto, con pocos segmentos y recubierto parcialmente por el caparazón.

Clorofila: Sustancia de color verde contenida en los plastos (cloroplastos) que dan color a muchos órganos vegetales.

Cloración: La aplicación de cloro

Punto de ruptura o de quiebre: La aplicación de cloro al agua, aguas residuales o desechos industriales que contienen amoníaco libre hasta obtener cloración residual libre.

Coagulación: La aglomeración de materia suspendida, coloidal o finamente dividida, por la adición al líquido de un coagulante químico apropiado, por un proceso biológico o por otros medios.

Colmatando: Sinónimo saturar.

Coloides: Sólidos finamente divididos, que no se sedimentan, pero que pueden ser separados por coagulación o por acción bioquímica.

Contaminación: La adición al agua de aguas residuales, desechos industriales o cualquier otro material dañino.

Convergente: Dirigir dos o más líneas a un mismo punto.

Criba: Un artefacto con aberturas, generalmente de tamaño uniforme, usado para retener o separar los sólidos suspendidos o flotantes de una corriente de agua o aguas residuales y para prevenir que entren a la toma o pasen de un determinado punto, en un conducto. El elemento filtrante puede consistir en barras o barrotes paralelos, varillas, alambres, tela de alambre o placas perforadas y las aberturas pueden tener cualquier forma, aunque generalmente son circulares o rectangulares. También se usa para separar por tamaños el material granular.

Desbaste: Proceso con el cual se disminuyen sólidos de gran tamaño.

Desinfección: La destrucción de la mayor parte de los microorganismos dañinos o perjudiciales, que se encuentren en un medio.

Desnitrificación: La disminución de los nitratos en solución por acción bioquímica.

Detritos: Resultado de la descomposición de una masa sólida en partículas.

Difusión: Fenómeno de transferencia de materia, generalmente cuando dos fases inmiscibles están en contacto.

Divergente: Irse apartando sucesivamente unas de otras dos o más líneas.

Ecosistema: Zona natural llamada también sistema ecológico, en que organismos vivientes y sustancias inertes actúan intercambiando materiales en una relación recíproca.

Efluente: Un líquido que fluye hacia afuera del espacio confinado que lo contiene.

Enzimas: Catalizador de las células vivas.

Escisión: División.

Escorrentía: Corriente de agua que se vierte al rebasar su depósito o cauce naturales o artificiales (aliviadero).

Eutroficación: Medio natural o artificial que tiene una concentración excesiva de sustancias nutritivas.

Exudan: Salir un líquido fuera de sus vasos o continentes propios.

Fétido: Que huele mal.

Fitoplancton: Conjunto de organismos acuáticos de naturaleza vegetal (algas marinas o de agua dulce) que constituyen al plancton, o parte vegetal del plancton.

Flagelos: Sirve para efectuar los desplazamientos del microorganismo, se diferencian de los cilios por su mayor longitud y por el tipo de movimiento.

Flóculo: Pequeña masa gelatinosa formada en un líquido por la adición de coagulantes o por medio de procesos bioquímicos o por aglomeración.

Fluctuar: Oscilar sobre las aguas.

Fotosíntesis: Proceso de fijación de CO₂ por las plantas verdes para la síntesis de hidratos de carbono.

Granzas: Residuos que quedan de las semillas cuando se avientan, y criban.

Hidrólisis: La conversión de compuestos orgánicos complejos e insolubles en otros compuestos más sencillos y solubles en agua.

Heterótrofos: Organismo que para alimentarse necesita metabolitos orgánicos, aunque también incorpora sustancias inorgánicas.

Hongos: Pequeños vegetales que no producen clorofila, que carecen de raíces, tallo y hojas y que se encuentran, entre otros lugares, en el agua, aguas residuales, o efluentes de aguas residuales y que crecen mejor en ausencia de luz. Su descomposición, después de muertos, puede impartir olores y sabores desagradables al agua.

Influente: Aguas residuales, agua u otro líquido crudo o parcialmente tratado, que entra a un depósito, estanque o planta de tratamiento.

Ion: Átomo o grupo de átomos que llevan una carga eléctrica, debido a la pérdida o ganancia de algún electrón.

Inorgánico: Cuerpos desprovistos de vida, no organizados, como los minerales.

Irrigar: Llevar agua a la tierra mediante canales (regar).

Insuflado: Acción de inyectar aire.

Lodo: Los sólidos depositados por las aguas residuales, o desechos industriales, crudos o tratados, acumulados por sedimentación en tanques o estanques y que contienen más o menos agua para formar una masa semilíquida.

Materia: Sólidos, líquidos y gases.

Inorgánica: Sustancias químicas de origen mineral. Por lo general, no se volatilizan al ser calentados.

Orgánica: Sustancias químicas de origen animal, vegetal e industrial. Incluye a la mayor parte de los compuestos de carbono y son combustibles y volatilizables por el calor.

Microorganismo: Diminutos organismos, vegetales o animales, invisibles o apenas visibles a simple vista.

Nemátodos: Clase de gusanos no segmentados del filum asquelmintos, son de cuerpo alargado o filamentosos y sección cilíndrica.

Nitrificación: La oxidación del nitrógeno amoniacal a nitratos, por medios bioquímicos.

Orgánico: Sustancia que compone los seres vivos, fundamentalmente integrada por C, O, H y N.

Oxipausa: Es la profundidad a la que se anula el oxígeno disuelto.

Pedúnculos: Parte del cuerpo, en las especies pertenecientes a distintos grupos de invertebrados.

Percolación: El flujo o gotéo del líquido que desciende a través del medio filtrante. El líquido puede o no llenar los poros del medio filtrante.

Plancton: Organismos flotantes generalmente microscópicos.

Polisacáridos: Son sustancias blancas e insípidas, de propiedades reductoras muy débiles y poco solubles en agua. Tienen funciones variables según su naturaleza, por ejemplo, actuar como materiales de reserva energética.

Proliferaciones: Multiplicación de formas similares, especialmente tratándose de células.

Protozoos: Animales unicelulares provistos de núcleo.

Pulverización: El proceso de cribar el agua residual y dividir los residuos en partículas suficientemente finas para que pasen a través de las aberturas de las cribas.

Purificación: La eliminación por métodos naturales o artificiales, de la materia inconveniente del agua.

Putrefacción: La descomposición biológica de la materia orgánica con producción de malos olores que van asociados a las condiciones anaerobias.

Reaeración: La absorción de oxígeno por un líquido, del cual su contenido de oxígeno disuelto ha quedado agotado.

Rotíferos: Clases de gusanos de pequeñas dimensiones y de formas variables.

Saprofíticos: Microbios que viven normalmente en el organismo, sobre todo en el tubo digestivo, a expensas de las materias en putrefacción y que pueden dar lugar a enfermedades.

Séptico: Que produce putrefacción o es causado por ella.

Setos: Cercado de árboles vivos.

Simbiótico: Asociación de dos organismos de distinta especie con beneficios para ambos. Por lo común tiene como finalidad la protección de un individuo a cambio de que el otro simbiote le proporcione alimentos.

Sinusoidal: Curva

Tratamiento: Es cualquier proceso definido, para modificar la condición de la materia.

De aguas residuales: Se llama así a cualquier proceso artificial a que se someten las aguas residuales, para eliminar o alterar sus constituyentes inconvenientes, y hacerlas así menos molestas o peligrosas.

Bibliografía

- Apuntes de Contaminación del Agua.
Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Apuntes de la clase de Tratamiento de Aguas Residuales.
Ing. Rafaél López Ruiz, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Apuntes de Hidráulica II.
Gilberto Sotelo Avila, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Fundamentos de Control de la Calidad del Agua.
T.H.Y. Tebbut, editorial Limusa.
- Manual de Tratamiento de Aguas Negras.
Dpto. de Sanidad de N.Y., editorial Limusa.
- Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales.
Metcalf and Eddy, editorial Labor S.A.
- Redes de Alcantarillado y Bombeo de Aguas Residuales.
Metcalf and Eddy, editorial Labor S.A.
- Standard Méthods for Examination of Water and Wastewater.
Edit. American Public Healt.
- Diario Oficial de la Federación.
- Manual Técnico del Agua.
Degremont,
- Tratamiento de Aguas Residuales Industriales.
Clementina Ramírez, UAM, Unidad Azcapotzalco.
- Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas.
Fair - Geyer - Okun, editorial Limusa.

Depuración por Lagunaje de Aguas Residuales.
MOPT.

Tratamiento de Aguas Residuales.
R.S. Ramalho, editorial Revorte S.A.

Depuración de Aguas Residuales.
Aurelio Hernandez Muñoz,