

153



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"CONSTRUCCION Y FUNCIONAMIENTO DE
UNA LAGUNA DE ESTABILIZACION"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

EDGAR VIGNON PEREZ



MEXICO, D. F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/015/01

Señor
EDGAR VIGNON PEREZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **M.S.P. RAFAEL LOPEZ RUIZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

"CONSTRUCCION Y FUNCIONAMIENTO DE UNA LAGUNA DE ESTABILIZACION"

INTRODUCCION

- I. LAS AGUAS RESIDUALES**
 - II. LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION**
 - III. CONSTRUCCION Y FUNCIONAMIENTO DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION**
 - IV. MANTENIMIENTO Y CONTROL DE LAS LAGUNAS DE ESABILIZACION**
- CONCLUSIONES**

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. Universitario a 22 de enero de 2001

EL DIRECTOR


M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB/GMP/mstg.

Doy gracias a Dios por darme la oportunidad de lograr un objetivo más en la vida.

Todo mi cariño y especial agradecimiento a mis padres quienes con su inapreciable apoyo y comprensión se hizo posible la realización de mi carrera profesional.

A mis hermanos Memo, Rodrigo, Pati y Monse así como también a mis cuñadas y sobrinos, por ser parte fundamental en mi vida.

Gracias Yadira, por el amor, optimismo y paciencia que siempre me brindaste.

Mi sincero agradecimiento para el M.S.P. Rafael López Ruíz por dirigir y asesorar la presente tesis y de una manera muy especial a todos mis maestros que me ayudaron en mi formación profesional.

EDGAR VIGNON PEREZ

INDICE

INTRODUCCIÓN. Pag. 1

CAPITULO I.- LAS AGUAS RESIDUALES.

- 1.1 CONCEPTO DE LAS AGUAS RESIDUALES. Pag. 5
- 1.2 CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES. Pag. 7
- 1.3 OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Pag. 16
- 1.4 PERSPECTIVA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MEXICO. Pag. 19

BIBLIOGRAFIA CAPÍTULO 1

CAPITULO 2.- LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION.

- 2.1 INTRODUCCION. Pag. 27
- 2.2 DESARROLLO HISTORICO. Pag. 29
- 2.3 VENTAJAS Y POSIBLES INCONVENIENTES. Pag. 30
- 2.4 TIPOS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION. Pag. 33

BIBLIOGRAFIA CAPITULO 2

CAPITULO 3.- CONSTRUCCION Y FUNCIONAMIENTO DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION.

- 3.1 EL DISEÑO DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION. Pag. 52
- 3.2 ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS. Pag. 72
- 3.3 LA CONSTRUCCION DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION. Pag. 85
- 3.4 EL FUNCIONAMIENTO. Pag. 125

BIBLIOGRAFIA CAPITULO 3

APITULO 4.- MANTENIMIENTO Y CONTROL DE LAS LAGUNAS DE
STABILIZACION.

- 4.1 EL MANTENIMIENTO Y EL CONTROL EN LAS LAGUNAS DE
ESTABILIZACION. Pag. 129
 - 4.2 POSIBLES PROBLEMAS Y SOLUCIONES. Pag. 142
- BIBLIOGRAFIA CAPITULO 4

CONCLUSIONES. Pag. 150

APENDICE. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996

INTRODUCCIÓN.

La disposición de las aguas residuales sin tratamiento previo en aguas superficiales afecta su posterior uso. Muchos de los ríos y lagos utilizados como fuente de abastecimiento de agua, tienen altos niveles de contaminación química y microbiológica. Estas mismas aguas superficiales se usan para el riego de cultivos agrícolas de consumo humano, incrementando los factores ambientales de riesgo para la salud de la población. Las situaciones endémicas de diarreas, parasitismo, fiebre tifoidea y salmonellosis son frecuentes en muchas poblaciones de nuestro país, las que en fechas relativamente recientes vino a sumarse el cólera al presentarse en nuestro país la última pandemia de esta enfermedad, la cual inicio en Perú en 1991 y llegó a México al año siguiente y para 1996 habían reportados en el país 16,430 casos de los cuales 137 fueron mortales (reforma, 1996).

De tal manera que la importancia de las aguas residuales como problema radica en sus características, es decir, su composición y cantidad, por lo que es necesario conocer su proceso de formación: El agua potable suministrada por las redes municipales no es agua químicamente pura, sino que contiene sustancias en disolución en pequeñas cantidades. Entre estas sustancias, las más importantes son algunos gases, como el oxígeno y nitrógeno, y compuestos inorgánicos que el agua ha disuelto, tanto durante su periodo de estancia en el medio natural del que proviene (embalse, río o acuífero) como una vez producida su captación por parte del hombre para incorporarla a la red de agua potable. Esto se debe a que el agua es una sustancia con gran poder de disolución, por lo que en su tránsito por distintos puntos va incorporando nuevas materias disueltas. Antes que el agua sea utilizada como agua potable es necesario realizar análisis que demuestren que los niveles de impurezas no resultan perjudiciales para la salud de los usuarios. Con esta finalidad, también se lleva a cabo la cloración de las aguas, operación que asegura que éstas no van a contener microorganismos que puedan ocasionar enfermedades. Los focos

principales de la contaminación del agua resultante en los servicios domésticos son los procesos de lavado (baños, lavabos, lavadoras, etc.), y el agua proveniente de los inodoros. Estas actividades provocan una contaminación de tipo físico, químico y biológico, que tiene un impacto en el medio ambiente y por tanto se tiene la necesidad del tratamiento.

Existen diversos procesos y operaciones que conjuntándolos se determina un tren de tratamiento para eliminar los contaminantes que se quieren retirar de las aguas residuales municipales, por ello existen diversos tratamientos que se pueden agrupar en:

- Aerobios
- anaerobios
- Lagunas de estabilización.

El tratamiento a través de lagunas de estabilización de aguas residuales consiste en el almacenamiento de éstas 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 presentes en el medio. En la depuración por medio de lagunas de estabilización no interviene para nada la acción del hombre, por lo que es un método biológico natural de tratamiento, basado en los mismos principios por los que tiene lugar la autodepuración en ríos y lagos.

Dado lo anterior la presente tesis presenta como objetivos los siguientes:

- a) Analizar la importancia que tienen las lagunas de estabilización en el tratamiento de las aguas residuales.
- b) Presentar los diversos tipos de lagunas de estabilización que existen.

c) Exponer la construcción y el funcionamiento de las lagunas de estabilización.

Para cumplir con estos objetivos la presente tesis se estructura de la siguiente manera:

En el primer capítulo se expone el concepto de agua residual, así como también analizar las características de ésta y se explica la necesidad de su tratamiento; a su vez se exponen los objetivos que se pretende alcanzar con esto, finalmente se realiza una perspectiva del tratamiento de aguas residuales en nuestro país, esto con la finalidad de conocer su situación actual.

El segundo capítulo trata sobre las lagunas de estabilización, sus principales antecedentes, su desarrollo a través del tiempo, los diferentes tipos de lagunas de estabilización que existen y sus características. También se hace un comparativo entre sus ventajas e inconvenientes, resultando las primeras más numerosas y de mayor peso los segundos.

El tercero es el capítulo fundamental de la tesis ya que en el se expone el diseño, la construcción y el funcionamiento de las lagunas de estabilización de acuerdo a las normas mexicanas que existen al respecto, en este capítulo se analizan diversos aspectos técnicos que van desde la mecánica de suelos hasta los fundamentos específicos en la construcción para un adecuado funcionamiento de la laguna.

En el cuarto capítulo se expone el mantenimiento a que deben someterse las lagunas de estabilización y también se enuncian los posibles problemas que pueden presentarse en su funcionamiento y las soluciones que pueden aplicarse a los mismos.

Finalmente se realizan las conclusiones del trabajo y se evalúa la conveniencia del uso de lagunas de estabilización en nuestro país y se menciona la bibliografía usada para la elaboración de la tesis.

CAPITULO I.- LAS AGUAS RESIDUALES

1.1 CONCEPTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Las aguas residuales son el resultado de la utilización del agua para distintos fines. Como consecuencia de este uso, el agua recoge materias en suspensión y disueltas que alteran sus propiedades. Por lo que es fundamental conocer su proceso de formación: El agua potable suministrada por las redes municipales no es agua químicamente pura, sino que contiene sustancias en disolución en pequeñas cantidades. Entre estas sustancias, las más importantes son algunos gases, como el oxígeno y nitrógeno, y compuestos inorgánicos que el agua ha disuelto, tanto durante su período de estancia en el medio natural del que proviene (embalse, río o acuífero) como una vez producida su captación por parte del hombre para incorporarla a la red de agua potable.

Esto se debe a que el agua es una sustancia con gran poder de disolución, por lo que en su tránsito por distintos puntos va incorporando nuevas materias disueltas. Antes que el agua sea utilizada como agua potable es necesario realizar análisis que demuestren que los niveles de impurezas no resultan perjudiciales para la salud de los usuarios. Con esta finalidad, también se lleva a cabo la cloración de las aguas, operación que asegura que éstas no van a contener microorganismos que puedan ocasionar enfermedades.

Como consecuencia del uso del agua potable en las casas, se incorporan a ésta una serie de sustancias y se genera lo que llamamos aguas residuales municipales. Los focos principales de la contaminación del agua resultante son los procesos de lavado (baños, lavabos, lavadoras, etc.), y el agua proveniente de los

inodoros. Estas actividades provocan una contaminación de tipo físico, químico y biológico.

Una vez vistos los aspectos anteriores dan una idea de la formación de las aguas residuales por lo que ahora se puede pasar a exponer la definición de estas, de tal manera que el INEGI (1999) (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) asesorado por la Comisión Nacional del Agua (CNA) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) para sus estudios sobre el tema las define como:

Aguas residuales.- Son las aguas utilizadas y contaminadas con desechos domésticos, comerciales e industriales.

INCLUYE: las aguas pluviales que corren por los drenajes.

Otra definición (infoagua, 2000) dice:

Aguas residuales .- Efluentes acuosos de un proceso que drenan o se almacenan. Aguas usadas por una comunidad o industria que contienen materia disuelta o en suspensión.

Sin embargo y para fines de la presente tesis se considerará la definición dada por la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 referente a las aguas residuales:

Aguas residuales.- Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Una vez establecido el concepto de aguas residuales pasamos a las características de la misma.

1.2 CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Diversas son las fuentes que originan las aguas residuales dado que el agua, además de servir como elemento vital para el hombre, es también utilizada como medio de transporte para diversas actividades. Inciden básicamente en el origen de las aguas residuales los residuos líquidos del quehacer habitacional, del comercio e instituciones, las aguas lluvias y aguas subterráneas y de manera muy importante, los residuos tanto de humanos como de los animales y de manera también importante los residuos industriales líquidos. Tomando en cuenta esto se tienen:

Residuos productos del Quehacer Habitacional

Se producen estos en la utilización de baños, cocina y lavado, los cuales contienen materias como, detergentes, jabones, restos de alimentos y alimentos sintéticos.

Residuos Humanos y Animales

Consisten éstos básicamente en desechos fecales y orina, los que pueden transportar organismos patógenos que afectan la salud humana.

Residuos Industriales Líquidos

Son un sinnúmero los elementos que las industrias disponen en las redes de alcantarillado tales como, metales, productos químicos, materia orgánica y elementos sólidos, todos con serios efectos nocivos.

Aguas de Lluvia

Estas aguas al derivar hacia los alcantarillados arrastran gran cantidad de arena, hojas y ramas de árboles, pasto y otros elementos que se combinan con los otros residuos líquidos.

Las aguas residuales se componen, básicamente, de un 99,9% de agua en su estado conocido como de agua potable y de un 0,1% por peso de sólidos, sean éstos disueltos o suspendidos. Este 0,1% referido es el que requiere ser removido para que el agua pueda ser reutilizada. El agua sirve o actúa como medio de transporte de estos sólidos, los que pueden estar disueltos, en suspensión o flotando en la superficie del líquido.

Las aguas residuales típicas contienen:

Fuente: infoagua, 2000

Agua Potable	Sólidos	Gases Disueltos	Componentes Biológicos
99,9%	0,1% (por peso) Suspendidos Disueltos Coloidales Sedimentables Materia orgánica (DBO)	O ₂ CO ₂ H ₂ S N ₂	Bacterias Micro y macroorganismos Virus, Hongos.

Analizando el cuadro se tiene lo siguiente:

Sólidos

En las aguas residuales se encuentran todo tipo de sólidos, distinguiéndose entre ellos orgánicos e inorgánicos: Los sólidos orgánicos son sustancias que contienen carbón, hidrógeno y oxígeno, pudiendo alguno de estos elementos combinarse con nitrógeno, azufre o fósforo. Los principales grupos lo conforman las proteínas, los carbohidratos y las grasas, susceptibles todos de ser degradados por medio de bacterias y de organismos vivos que son combustibles, es decir, pueden ser quemados. Los sólidos inorgánicos son sustancias inertes y no susceptibles de ser degradados, designándoseles comúnmente como minerales. Dentro de estos se incluyen arenas, aceites y sales minerales disueltas en el agua potable y sin propiedades combustibles.

Los sólidos comúnmente se clasifican en suspendidos, disueltos y totales:

Sólidos Suspendidos: Son aquellos que son visibles y flotan en las aguas residuales entre superficie y fondo. Pueden ser removidos por medios físicos o mecánicos a través de procesos de filtración o de sedimentación. Se incluyen en esta clasificación las grandes partículas que flotan, tales como sólidos fecales, restos de papel, madera en descomposición, partículas de comida y basura los que son en un 70% orgánicos y en un 30% inorgánicos.

Los sólidos suspendidos se dividen a su vez en dos grupos: Sedimentables y coloidales. La parte de sólidos en suspensión que por tamaño y peso pueden sedimentar al lapso de una hora en la prueba del cono Imhoff, se denominan sedimentables, siendo en promedio un 75% orgánicos y un 25% inorgánicos. A la

diferencia entre sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales se les denomina coloidales, constituidos por partículas sólidas finamente divididas que no pueden sedimentar, pero que pueden ser removidas por coagulación química o bioquímica, cuyas principales características son el tamaño de las partículas que los constituyen, ya que se encuentran en el rango de la milésima y la millonésima parte del milímetro. Las partículas coloidales se encuentran cargadas eléctricamente con carga del mismo signo, lo cual indica que están repeliéndose continuamente, por esta razón no pueden agruparse y aumentar de tamaño y por lo tanto sedimentarse.

Sólidos Disueltos: Es la denominación que reciben todos los sólidos que quedan retenidos en un proceso de filtración fina. En general, los sólidos disueltos son en un 40% orgánicos y un 60% inorgánicos.

Sólidos Totales: Como se indica bajo esta denominación, se incluyen todos los sólidos existentes en las aguas residuales y que en promedio son un 50% orgánicos, precisamente estos sólidos presentes en las aguas residuales los que son sujeto de degradación y se constituye como requisito para una planta de tratamiento de aguas residuales.

DBO

Cómo parte importante de los sólidos se encuentra la materia orgánica biodegradable la que se cuantifica a través de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). La cantidad de oxígeno que se requiere para la oxidación aerobia biológica de los sólidos orgánicos de las aguas residuales o desechos se denomina demanda bioquímica de oxígeno o DBO. Es el parámetro más utilizado para evaluar el tratamiento y además el comportamiento de las lagunas de estabilización, ya que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), caracteriza la carga orgánica presente.

Gases Disueltos

Las aguas residuales contienen pequeñas y variadas concentraciones de gases disueltos. Entre lo más importantes de estos se encuentran el oxígeno, el cual está presente en el agua en su estado original, así como también disuelto en el aire que está en contacto con la superficie del líquido. Este oxígeno, generalmente denominado oxígeno disuelto, es un factor muy importante en el tratamiento de las aguas residuales, ya que es fundamental para la realización del proceso aerobio.

Se encuentran también presentes en las aguas residuales otros gases tales como anhídrido carbónico, resultante de la descomposición de materia orgánica, nitrógeno disuelto de la atmósfera, y sulfuro de hidrógeno de compuestos de azufre tanto orgánicos como inorgánicos.

Componentes Biológicos

Un gran número de componentes biológicos se encuentran en las aguas residuales entre los que se distinguen: virus, bacterias, hongos, organismos microscópicos y macroscópicos.

Virus

Los virus son agentes infecciosos con características singulares, ya que por su tamaño (entre 20 y 300 nanómetros) pueden filtrarse por poros de filtros que otros microorganismos no pueden pasar y los microscopios ópticos no son capaces de detectarlos. Básicamente están constituidos de ácido nucleico rodeado de una barrera proteínica que constituye la estructura del virus. Una gran variedad de virus pueden ser ingeridos en el agua que se consume no potable, tal es el caso de

poliovirus así como virus de hepatitis infecciosas. Estos virus pueden provocar desórdenes respiratorios, gastrointestinales y del sistema nervioso central. La hepatitis infecciosa produce enfermedades del hígado.

Bacterias

Las bacterias son organismos vivos, microscópicos en tamaño, se componen de una célula y su metabolismo puede existir sólo cuando el medio ambiente provee sus necesidades y al igual que el resto de los seres vivos producen residuos como resultado de su ciclo de vida. Las bacterias se pueden dividir, para nuestros fines, en tres tipos:

Aeróbicas: Estas bacterias pueden sobrevivir sólo en presencia de oxígeno disuelto. El proceso de degradación biológica que ellas realizan se denomina oxidación o descomposición aeróbica, y ocurre en presencia de oxígeno disuelto sin la producción de olores desagradables.

Anaeróbicas: Estas bacterias no pueden sobrevivir en presencia de oxígeno disuelto y sólo se desarrollan cuando está completamente excluido el oxígeno. Las bacterias anaerobias obtienen su energía por respiración anaerobia, que es un tipo de oxidación biológica en la que el aceptor fundamental de electrones un compuesto inorgánico distinto del oxígeno. Este tipo de respiración produce reacciones productoras de energía (ATP) a través de reacciones de fosforilación en que intervienen los sistemas transportadores de electrones.

Es precisamente este proceso de descomposición, en ausencia de oxígeno, el que produce olores desagradables debido a los gases que dichas bacterias liberan en su proceso metabólico (H_2S , CH_4 , NH_3 , etc.).

Facultativas: Estas bacterias pueden ajustar su proceso de vida en ambientes con o sin presencia de oxígeno.

Hongos: Son microorganismos de tipo vegetal, pero sin clorofila, que tienen en su estructura filamentos y ramificaciones. Pueden causar enfermedades al hombre por contacto con aguas residuales contaminadas con estos, principalmente en la piel (micosis, nocardiosis, etc.)

Organismos Micro y Macroscópicos

Además de las bacterias, virus y hongos otros tipos de organismos se encuentran presentes en las aguas residuales y funcionan en forma similar a estas. Algunos como el caso de las amibas son de tamaño microscópico y pueden provocar graves enfermedades. Otros son mayores en tamaño y pueden ser vistos a simple vista. Ellos son gusanos, insectos y otros, los cuales igualmente juegan un papel en el proceso de descomposición del sistema orgánico.

Otras de las características físicas y organolépticas de las aguas residuales pueden analizarse a partir de las propiedades de ésta y de su origen a partir de su trayectoria dentro de las instalaciones de la red.

· Temperatura

El agua residual urbana presenta una temperatura bastante uniforme a lo largo del año. Aunque hay pequeñas diferencias entre poblaciones, la temperatura suele ser de unos 15° C durante el invierno y 20° C durante el verano. Por supuesto, cuanto mayor sea la distancia que el agua residual debe recorrer entre la población y la planta de tratamiento, más se parecerá la temperatura de entrada a la temperatura ambiente. El agua residual urbana está normalmente algo más caliente que el agua

de suministro, debido al efecto de los procesos biológicos y químicos que se presentan, el producto del metabolismo de los microorganismos presentes provoca generación de sustancias que sumadas a la materia orgánica presente provoca reacciones químicas que generan energía en forma de calor.

Durante el invierno, la temperatura del agua residual suele ser superior a la temperatura en las lagunas de estabilización. Estas diferencias de temperatura representan en invierno una ayuda para las primeras lagunas de tratamiento, normalmente las lagunas anaerobias, ya que a mayores temperaturas son más activos los microorganismos.

· *Olor*

El agua residual urbana al producirse tiene un olor característico a moho, sin embargo, el proceso de descomposición anaerobia da origen a olores ofensivos y desagradables, en gran parte debido a gases como el ácido sulfídrico, metano y amoníaco, todos ellos productos del proceso de putrefacción de la materia orgánica.

· *Color*

El color del agua residual recién producida es gris, con sólidos en suspensión o flotantes fácilmente reconocibles. Si se deja pasar un tiempo excesivo entre la generación del agua residual y su tratamiento, el color pasa a ser negro y los sólidos se hacen menos distinguibles. En estas condiciones se dice que el agua residual está séptica, y surgen también problemas de olores.

Caudal

Esta es una característica no intrínseca, pero importante a la hora de

proyectar una laguna de estabilización, es la cantidad de vertido por unidad de tiempo que va a llegar a la instalación. Esta cantidad o caudal depende de la población servida por la planta de tratamiento y de las costumbres en relación al uso de agua.

El caudal del agua residual suele estimarse en función del caudal de agua potable suministrado a la red por los servicios municipales. Para hacer esta estimación se tiene en cuenta que existen una serie de pérdidas que provocan que el caudal de aguas residuales generado sea inferior al de agua potable suministrada. Estas pérdidas se deben, fundamentalmente, al estado de la red. Cuando ésta se encuentra en mal estado se producen infiltraciones importantes en el subsuelo. Otras posibles pérdidas se deben a usos del agua en los que no se produce su reincorporación al alcantarillado, como ocurre en los riegos y la limpieza. Por tanto, la fracción de agua facturada por el municipio que llega a la planta de tratamiento varía de población a población en función del estado de la red y del uso del agua por la población. Las normas mexicanas establecen que existe una relación directa entre aportación de aguas negras y dotación de agua potable. En general se acepta la aportación de aguas con un valor del 75% de la dotación del agua potable según normas de la CNA.

Por otra parte, la red de alcantarillado puede disponer o no de sistemas que permitan separar las aguas de lluvia de las aguas residuales. Existen tres tipos de sistemas de alcantarillado que adquieren su denominación por la naturaleza de las aguas que transportan y para lo cual fueron expresamente proyectados (Sánchez, 1995):

- Sistema separado de aguas negras.
- Sistema separado de aguas pluviales.
- Sistema combinado.

Por norma de la CNA, actualmente no se permite la construcción de los sistemas combinados. Ya que el objetivo principal es evitar la contaminación y proteger la salud de los habitantes. Además de que la prioridad es el desalojar las aguas negras de las poblaciones.

Sistema separado de aguas negras.

Es aquel que se diseña únicamente para recibir las aportaciones de aguas de desecho, tanto domésticas como industriales, con el fin de alejarlas de la localidad hasta un sitio adecuado y previamente seleccionado, donde serán tratadas para volver a usarlas en riego o en la industria, o verterlas a una corriente natural.

Sistema separado de aguas pluviales.

Es aquel que se proyecta exclusivamente para captar las aguas de lluvia y conducir las a hasta un sitio en el que no produzcan molestias ni daños a la localidad.

Sistema combinado.

Es aquel sistema de alcantarillado que sirve para captar y conducir por la misma red de conductos, la aportación de aguas negras como las aguas de lluvias, como ya se mencionó en México actualmente no se autoriza la construcción de estos sistemas.

1.3 OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

En nuestro país el tratamiento de aguas residuales tiene tres objetivos básicos:

- a) Prevenir la transmisión de enfermedades por vía hídrica.
- b) Evitar la contaminación del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas.
- c) Reutilización del agua.

Sin duda el objetivo primario del tratamiento de aguas residuales, en nuestro país, es el evitar la transmisión de enfermedades que utilizan como vehículo de contaminación el agua. El eliminar los microorganismos patógenos que incrementan la mortalidad entre la población es fundamental para mantener la salud en población. El evitar la contaminación de acuíferos con aguas residuales es otro objetivo igualmente importante que el anterior, ya que el mantener limpias las fuentes de origen del agua para diversos usos de la población beneficia su calidad de vida de manera directa. Además de estos dos objetivos fundamentales, el tratamiento de aguas residuales debe enfocarse desde el punto de vista de la recuperación de un recurso renovable y escaso como es el agua. La reutilización principalmente en riego con agua residual tratada es una práctica común en muchas regiones. En estos casos es especialmente importante llevar a cabo un tratamiento de depuración que garantice la inexistencia de riesgos para la salud de la población expuesta a estas aguas, bien en forma directa o a través de los productos agrícolas generados.

El desbalance entre el recurso hídrico y el crecimiento explosivo de las grandes ciudades, ha obligado a priorizar el uso de aguas superficiales para abastecimiento público y generación de energía eléctrica. Como lógica consecuencia, la actividad agrícola ubicada en la periferia de las ciudades se ha visto seriamente afectada y se ha optado por el uso las agua residuales como única alternativa de supervivencia. Esto se refleja en la existencia de tierras agrícolas irrigadas con estas aguas en forma directa, la mayoría sin tratamiento previo. En la década pasada en México se reportaron 350 000 hectáreas agrícolas (CEPIS, 1995)

regadas directamente con aguas residuales, lo que da una idea de la dimensión de la urgencia de solucionar este problema.

Por lo tanto, en los países en desarrollo como el nuestro, el objetivo prioritario de tratamiento de las aguas residuales, debe ser la remoción de parásitos, bacterias y virus patógenos pues causan males endémicos en nuestro país y posteriormente la remoción de materia orgánica y nutrientes, que es el principal objetivo del tratamiento en los países desarrollados, en los cuales los casos de tifoidea o de parasitismo son excepcionales.

La opción tecnológica mediante la cual se alcanza plenamente este objetivo de "no patógenos", corresponde a las lagunas de estabilización cuando estas son diseñadas, construidas y operadas en forma adecuada. Las investigaciones han demostrado la gran eficiencia de remoción de parásitos (huevos de helmintos y quistes de protozoos), virus y bacterias patógenas, incluido el *Vibrio cholerae*. Ningún sistema convencional puede competir con la eficiencia de remoción de patógenos que se logra en las lagunas a menos que se adicione el proceso de desinfección del efluente, que encarece y hace más compleja la operación y el mantenimiento.

El uso de las aguas residuales también permite obtener otros beneficios, como el uso eficiente del agua, producción de abonos naturales y generación de alimentos, empleo e ingresos económicos. Por otro lado al tratar las aguas residuales se incrementa la frontera agrícola en zonas desérticas.

1.4 PERSPECTIVA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MEXICO.

De acuerdo al primer Censo de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua realizado en 1999 por el INEGI con el apoyo de la Comisión Nacional del Agua (CNA) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), las principales características del agua residual en nuestro país son las siguientes:

Tabla 1
Cantidad del agua residual producida en México (1998)

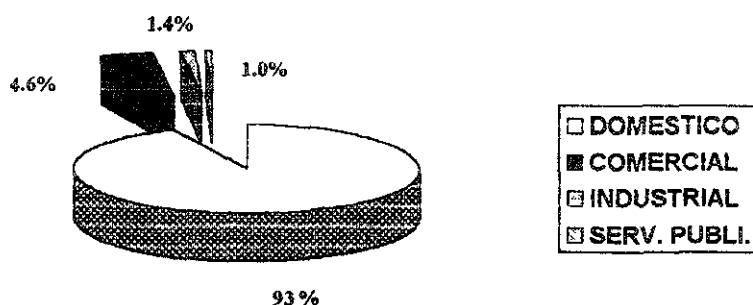
Origen	Miles de m ³ por año	Porcentaje %
Domestico	6021776	93
Comercial	296278	4.6
Industrial	90645	1.4
Servicio Público	49981	1
Total Nacional	6458680	100%

Fuente. INEGI, 1999

De acuerdo con estos resultados el volumen total de aguas residuales producidas en nuestro país es de 6458680 miles de metros cúbicos por año, lo que da una idea de la gran cantidad de agua residual que es producida anualmente en el país. Gran parte de esta última es producida por los hogares del país 6021773 metros cúbicos, lo que representa el 93% del total, dejando el 7% restante a la producida por el comercio, la industria y el servicio público. Este es un dato importante ya que la mayor parte de las aguas residuales producidas en el país al ser de origen domestico tienen características bien definidas, es decir, en su mayoría es producida por detergentes, jabones y desechos de tipo orgánico, lo que influirá en la elección del método para tratar estas de aguas residuales.

Gráfica 1

Comparativo de la producción del agua residual en México



En cuanto a la región de origen del agua residual (tabla 2) se tiene que el mayor volumen es producido en el sector compartido por las regiones rural y urbana (60%), es decir aquellas zonas conurbadas a las grandes urbes del país, donde se intercalan grandes sectores de la población tanto urbana como rural, le siguen las regiones eminentemente urbanas (39.9%) y el rural en una mínima parte con un 0.1%.

Tabla 2

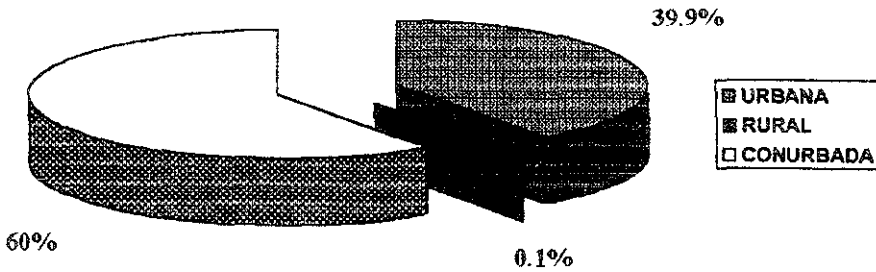
Regiones de origen del agua residual (1998)

Región	Miles de m ³	Porcentaje %
Urbana	2592631	39.9
Rural	6512	0.1
Conurbado	3659537	60
Total nacional	6458680	100

Evidentemente la mayor producción de aguas residuales se concentra en las grandes ciudades y las zonas conurbadas, donde además de grandes concentraciones de población existen grandes zonas industriales lo que influye en el aumento de la producción de estas aguas residuales, siendo una cantidad comparativamente pequeña la producida en las zonas rurales.

Gráfica 2

Zonas de origen del agua residual en relación al total nacional



Una vez mostradas las estadísticas básicas de las aguas residuales en el país se pasa a analizar el tratamiento que se les da a estas dentro del territorio nacional.

Tratamiento de aguas residuales en México.

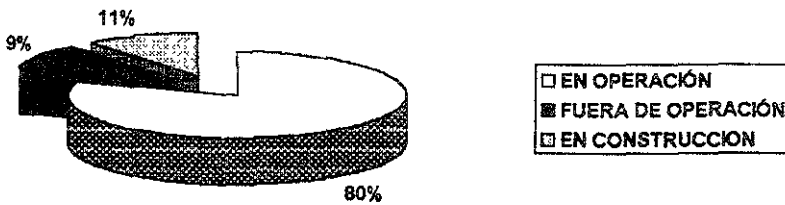
Plantas de tratamiento de aguas residuales.-

De acuerdo con los resultados del I censo ya citado (INEGI, 1999) las plantas de tratamiento de aguas residuales en México suman un total de 602 de las cuales 484 (80%), además se encontraban en el momento del censo en operación y 53

(9%), además de ellas se encontraban fuera de operación por diversos motivos, además se contabilizaron 65 (11%) plantas en construcción en el momento del censo.

Gráfica 3

Plantas de tratamiento de aguas residuales en México



Se hace evidente que sólo un porcentaje (80%) del total de las plantas de tratamiento de aguas en el país se encuentra en funcionamiento, si a esto se le agrega el hecho de que la capacidad de operación de estas plantas no es del 100%, consideramos que el problema del tratamiento de las aguas residuales no tratadas se agrava de manera sustancial (ver tabla 3).

Tabla 3

Capacidad de tratamiento de las aguas residuales en México

Instalada (lps)	%	Operada (lps)	%
43111	100	26959	62

Puede observarse una marcada diferencia entre la capacidad instalada y la capacidad operada en las plantas de tratamiento de aguas residuales lo que

representa que de las plantas existentes sólo funcionan el 80% y este porcentaje sólo opera a un 62 % de su capacidad instalada, lo que refleja un serio problema en la operatividad de las plantas de tratamiento.

Tomando en cuenta estos datos encontramos que las plantas de tratamiento de aguas residuales en la práctica tienen una capacidad de operación de 26.96 m³/s, lo que evidentemente marca un déficit muy amplio entre la cantidad de agua residual producida por el país (204.8 m³/s) y la capacidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Los estados de la República que cuentan con una mayor cantidad de plantas de tratamiento de agua residual son: Aguascalientes, Colima, Distrito Federal, Guerrero, Hidalgo, Estado de México, Nuevo León, Querétaro y Veracruz.

Tabla 4
Plantas de Tratamiento por Estado

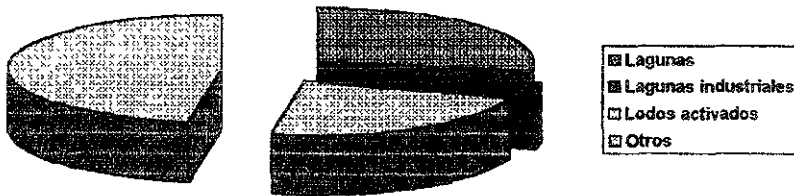
Estado	No. De plantas	%
Aguascalientes	41	6.8
Colima	23	3.8
Distrito Federal	17	2.8
Guerrero	23	3.8
Hidalgo	95	15.8
Estado de México	24	4
Nuevo León	27	4.5
Querétaro	20	3.3
Veracruz	30	5
Nacional	602	100

Lagunas de estabilización en México.-

Una de las alternativas que tiene el país para el tratamiento de aguas residuales en su territorio lo constituyen las lagunas de estabilización. De acuerdo con los datos de la Comisión Nacional del Agua (CNA, 1995) del total de plantas de tratamiento de aguas residuales en el país, son 357 lagunas (330 municipales y 27 industriales) lo que representa el proceso de tratamiento de aguas residuales más utilizado, seguido por el tratamiento de lodos activados con 268 plantas (ver gráfica 4).

Gráfica 4

Tratamientos utilizados en México

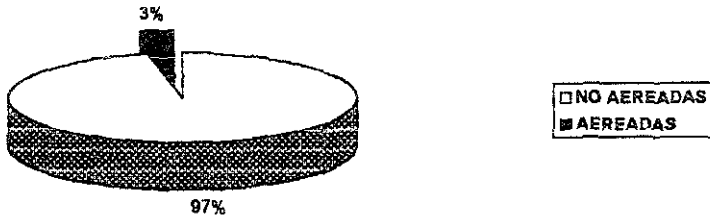


Fuente: CNA, 1995

Cabe señalar que en este mismo estudio, de los diferentes tipos de lagunas, se indica la preponderancia del tipo de lagunas no aereadas (321) que representan el 97% del total, por sólo 9 de las lagunas aereadas que representan el 3%.

Gráfica 5

Tipos de lagunas de estabilización



En cuanto a su ubicación geográfica dentro del territorio nacional los estados de Durango, Baja California Sur, Sinaloa, Sonora, Aguascalientes, Colima, México y Tlaxcala se encuentran localizadas la mayor parte cantidad de lagunas, aunque los estados de Coahuila, Durango, Baja California, Tabasco, Tamaulipas, Guanajuato, Jalisco, se encuentran las lagunas de mayor capacidad de tratamiento. La laguna de mayor caudal y trabajando con 80% de eficiencia en la República Mexicana, es la laguna facultativa localizada en Mexicali, Baja California con un caudal de 1,100 L/s.

Tabla 5

Lagunas de estabilización por estado

Estado	No. De Lagunas	Porcentaje %
Durango	33	9.2
Baja California Sur	9	2.5
Sinaloa	11	3.1
Sonora	44	12.3

Aguascalientes	76	21.3
Colima	19	5.3
México	14	3.7
Tlaxcala	31	8.7
Total Nacional	357	100

Otro dato que debe de tomarse en consideración es el hecho de que la capacidad del total de las lagunas (en su diseño) es de 13.06 m³/s, pero en la práctica, por diversas razones, sólo se opera con 8,97 m³/s (CNA, 1995), es decir, al igual que en las plantas de tratamiento de aguas residuales, las lagunas operan sólo una parte de su capacidad instalada, lo que representa un grave problema ya que la cantidad de aguas residuales producida en México es muy grande y la capacidad de tratamiento de las aguas residuales es muy baja, lo que conlleva que exista una gran cantidad de agua residual sin ningún tipo de tratamiento lo que agrava el problema de la contaminación de agua y suelo, y las consecuencias que de ello deriva para el país.

Bibliografía cap. 1

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

CNA, 1995. Manual de diseño de lagunas de estabilización. Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Subdirección general técnica, gerencia de ingeniería básica y normas técnicas. México.

Diario Reforma 20 de abril de 1996.

Sánchez Segura, Araceli (1995). Proyecto de sistemas de alcantarillado. IPN, México.

Infoagua 2000. www.infoagua.com

Hilleboe, E. Herman. (1976). Manual de tratamiento de aguas negras. Edit. Limusa, México.

INEGI (1999) Primer Censo de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua. México.

CEPIS (1995). Seminario Internacional. Lagunas de estabilización. Santiago de Cali, Colombia. 12-14 de julio. Aspectos Generales y Principios Básicos de los Sistemas de Lagunas de Estabilización

CAPITULO 2.- LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION.

2.1 INTRODUCCION.

Una laguna de estabilización es, básicamente un depósito de agua construido mediante una excavación en el suelo donde el agua residual se almacena para su tratamiento por medio de la actividad bacteriana con acciones simbióticas de las algas y otros organismos.

El tratamiento de las aguas residuales mediante lagunas de estabilización consiste en el almacenamiento de ellas 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 y facultativas presentes en el medio. Puesto que en el proceso de depuración por lagunas de estabilización no interviene para nada la acción del hombre, el lagunaje es considerado un método biológico natural de tratamiento, basado en los mismos principios por los que tiene lugar la autodepuración en ríos y lagos.

Cuando el agua residual es descargada en una laguna de estabilización se realiza en forma espontánea un proceso de autopurificación o estabilización natural, en el que tienen lugar fenómenos de tipo físico, químico y biológico. En esta descripción se establecen los aspectos fundamentales del proceso de tratamiento del agua que se lleva a cabo en las lagunas de estabilización:

- Es un proceso natural de autodepuración.
- La estabilización de la materia orgánica se realiza mediante la acción simbiótica de bacterias, algas y otros organismos superiores.

- Se presentan procesos físicos de remoción de materia suspendida.
- Se efectúan cambios químicos en la calidad del agua que, entre otros aspectos, mantienen las condiciones adecuadas para que los organismos puedan realizar la estabilización, transformación y remoción de contaminantes orgánicos biodegradables y, en algunos casos, nutrientes.
- Se establecen cadenas tróficas y redes de competencia que permiten la eliminación de gran cantidad de microorganismos patógenos que se encuentran presentes en las aguas residuales. Por lo tanto, las lagunas de estabilización se consideran y pueden proyectarse como un método de tratamiento de la materia orgánica y remoción de los patógenos presentes en el agua residual.

Dado que la presencia o ausencia de oxígeno disuelto en las lagunas de estabilización determina qué tipo de mecanismos van a ser responsables de la depuración, los estanques de estabilización suelen clasificarse en aerobios, anaerobios y facultativos de lo cual se ampliará la información más adelante.

Dependiendo de las condiciones del problema por resolver, las lagunas de estabilización pueden utilizarse solas, combinadas con otros procesos de tratamiento biológico, o bien, entre ellas mismas (sistemas lagunares de tratamiento). Es frecuente el uso de lagunas para complementar el tratamiento biológico de sistemas de lodos activados y filtros percoladores, por ejemplo.

Es importante realizar una aclaración de terminología: Los términos laguna y estanque son generalmente empleados indistintamente. Por laguna debe entenderse un depósito natural de agua. En cambio, un tanque construido para remansar o recoger el agua debe ser considerado como estanque. Cuando se habla de lagunas o estanques para tratar el agua residual se les agrega el término de estabilización. De tal manera que las lagunas de estabilización son las construidas mediante excavación

y compactación del terreno para el tratamiento de las aguas residuales. Asimismo, los estanques de estabilización serán aquellos en los que la laguna construida se recubra el suelo con concreto o algún otro material impermeable.

2.2 DESARROLLO HISTORICO.

Las lagunas se han empleado para tratar aguas residuales desde hace 3,000 años. En general. Las lagunas son depósitos construidos mediante excavación y compactación de la tierra que almacenan agua de cualquier calidad por un periodo determinado. Las lagunas constituyen un tratamiento alterno interesante ya que permiten un manejo sencillo del agua residual, la recirculación de los nutrientes que contiene y la producción primaria de alimento en la cadena alimenticia.

Las primeras lagunas de estabilización fueron en realidad embalses construidos como sistemas reguladores de agua para riegos. En estos embalses se almacenaban los excedentes de agua residual utilizada en riegos directos, sin tratamiento previo. En el curso de este almacenamiento se observó que la calidad del agua mejoraba sustancialmente, por lo que empezó a estudiarse la posibilidad de utilizar las lagunas como método de tratamiento de aguas residuales. El primer embalse es el que se realizaron estudios de este tipo fue el llamado Lago Mitchell, situado en la ciudad de San Antonio (Texas, Estados Unidos), a principios de este siglo.

Posteriormente se realizaron estudios sistemáticos de los procesos responsables de la depuración por lagunas de estabilización, para lo que se efectuaron seguimientos de las características físicas, químicas y microbiológicas de lagunas de estabilización situadas en California, Nevada, Texas y Arizona (Estados Unidos) y Lund (Suecia). Estos primeros estudios permitieron establecer las

características básicas del funcionamiento de las lagunas de estabilización, y la influencia de varios factores (temperatura, luz, configuración, orientación, forma y tamaño de los estanques, composición del agua residual) sobre el comportamiento de estas plantas depuradoras. Así el empleo de lagunas de estabilización como sistemas de depuración de aguas residuales se ha generalizado en todo el mundo.

Como resultado de la experiencia adquirida en la utilización de lagunas de estabilización se han ido incorporando mejoras de diseño que han permitido obtener, en algunos casos, calidades crecientes en el efluente.

2.3 VENTAJAS Y POSIBLES INCONVENIENTES.

Cuando se decide qué método de tratamiento de aguas residuales resulta indicado para una comunidad, el ingeniero debe tener en cuenta una serie de criterios que le permitan analizar sistemáticamente las ventajas y desventajas de las alternativas que se le presentan. Los siguientes criterios son fundamentales a la hora de la toma de decisión en la gestión de aguas residuales:

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 depuradora deben satisfacerse por personal disponible a nivel local, evitando en lo posible instalaciones complejas que requieran períodos 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 depuración. Especialmente en lo relacionado al mantenimiento, es esencial que los costos derivados de la depuración no excedan la capacidad de los municipios y organismos responsables de la gestión de las instalaciones. La posibilidad de reutilización de las aguas tratadas puede ser un factor importante en este sentido.

A continuación se presenta un cuadro comparativo entre las ventajas y los inconvenientes observados en las lagunas de estabilización.

CUADRO COMPARATIVO

Ventajas	Inconvenientes
La estabilización de la materia orgánica alcanzada es muy elevada.	Las lagunas ocupan grandes áreas que deben estar disponibles para su uso.
Las lagunas de estabilización presentan	La producción de un elevado contenido

una gran flexibilidad en el tratamiento de carga y caudal.

Las lagunas de estabilización puede utilizarse para el tratamiento de aguas residuales industriales con altos contenidos en materias biodegradables.

El diseño de las lagunas puede ajustarse fácilmente para que la depuración se adapte a las necesidades de la población.

Desde el punto de vista económico, las lagunas de estabilización son mucho más barato que los métodos convencionales, con bajos costes de instalación y mantenimiento.

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.

La generación y acumulación de lodos se aumenta durante un período largo de tiempo por que presentan un elevado rango de mineralización.

de algas que puede provocar problemas de taponamiento.

Su funcionamiento depende de las condiciones ambientales no controladas como la temperatura, la irradiación solar, la velocidad del viento, etc.

Generación de olores desagradables y deterioro de la calidad del efluente por sobrecargas de contaminantes.

Contaminación de acuíferos por infiltración, particularmente en lagunas mal diseñadas o con poco mantenimiento.

Pérdidas de agua debido a la evaporación e infiltración, que en algunos casos pueden ser importantes.

Generación de insectos y crecimiento de vegetales por mal mantenimiento y que pueden causar problemas en la operatividad de la instalación.

<p>En el proceso de lagunaje se generan biomásas potencialmente valorizables una vez separados del efluente.</p>	
--	--

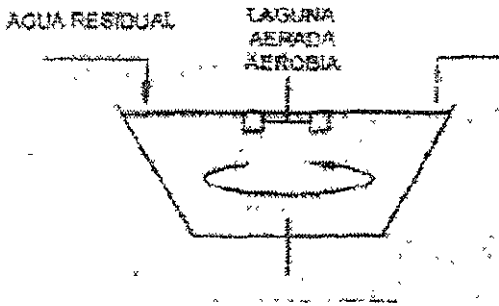
2.4 TIPOS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION.

Las lagunas de estabilización son medios simples y flexibles de tratamiento de aguas residuales para la descomposición biológica del material orgánico. Los tipos y modificaciones del sistema de lagunas son variados la presencia de oxígeno disuelto es uno de los criterios para determinar los nombres. Las lagunas se clasifican como anaerobias, aerobias, facultativas, aerobias-aireadas y facultativas-aireadas.

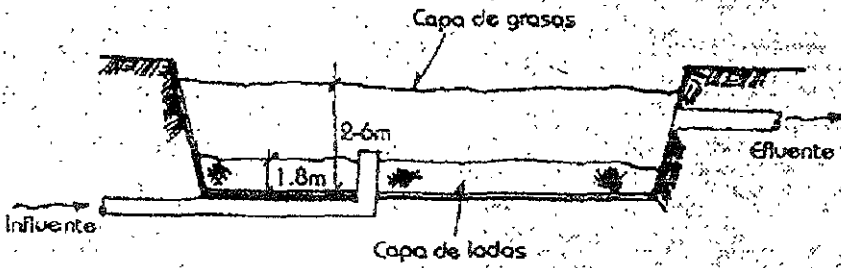
1. Lagunas anaerobias. La depuración en estas lagunas ocurre por la acción de bacterias anaerobias. En estas lagunas, como consecuencia de la elevada carga orgánica y el corto período de retención del agua residual, el contenido en oxígeno disuelto se mantiene muy bajo o nulo durante todo el año. El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

3. 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 eficacia de los dos mecanismos de adición de oxígeno al medio: la fotosíntesis llevada a cabo por las algas y la reaeración 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.
4. Aerobias aeradas. Las lagunas aerobias aeradas son una mejora del proceso de lagunas de estabilización que emplea aeradores para resolver los problemas de malos olores producidos por sobrecargas de materia orgánica y disminuir los requerimientos de área.
5. Anaerobias aeradas. Al igual que la anterior emplean aeradores, en este caso como fuente de oxígeno para estabilizar en las capas superiores de la laguna.

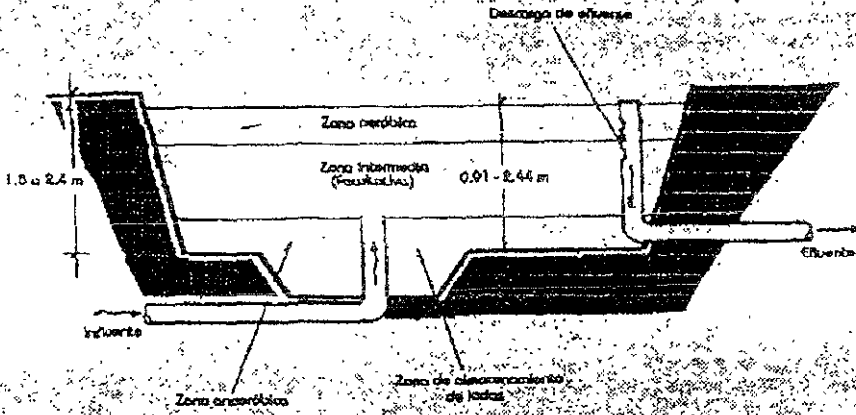
A continuación se realizará una descripción de las principales características de cada uno de los tipos de lagunas de estabilización mencionados.



Esquema de una laguna de estabilización aerobia.



Esquema de una Laguna de estabilización anaerobia.



Esquema de una laguna de estabilización facultativa.

Lagunas de estabilización aerobias.

Son grandes depósitos de poca profundidad donde los microorganismos se encuentran en suspensión y prevalecen condiciones aerobias. El oxígeno es suministrado en forma natural por la aeración de la superficie artificial o por la fotosíntesis de las algas.

La población biológica comprende bacterias y algas principalmente protozoarios y rotíferos, en menor medida. Las algas constituyen la mejor fuente de oxígeno para mantener las condiciones aerobias y los protozoarios ayudan a mejorar la calidad del efluente al alimentarse de las bacterias.

El oxígeno liberado por las algas es utilizado por las bacterias en la degradación de la materia orgánica. El dióxido de carbono y los nutrientes liberados por las bacterias es a su vez, utilizado por las algas para la fotosíntesis. Esta relación simbiótica constituye el componente fundamental del proceso.

Las lagunas aerobias se dividen en dos grupos lagunas de baja tasa y de alta tasa.

Lagunas aerobias de baja tasa

Las lagunas aerobias de baja tasa se diseñan para mantener las condiciones aerobias en toda la profundidad de la laguna maximizando la cantidad de oxígeno producido por un incremento masivo de algas. En general, se emplean para tratar residuos orgánicos solubles y efluentes secundarios.

Estos sistemas requieren grandes áreas por unidad de DBO estabilizada (4 ha por laguna) comparadas con los sistemas facultativos o anaerobios y no son recomendadas en climas fríos donde haya problemas de congelamiento. Por sus requerimientos de espacio y lo impráctico de mantener el oxígeno disuelto en todos los puntos durante todo el año, su empleo es poco común.

La eficiencia de conversión de materia orgánica en las lagunas aerobias es alta (80 al 95% DBO₅), sin embargo debe recordarse que aunque la DBO soluble haya sido removida del agua residual, el efluente tendrá una cantidad importante de algas y bacterias que pueden ejercer una demanda bioquímica de oxígeno, igual o mayor a la del agua residual sin tratar. Este aspecto se controla mediante la remoción de algas (cosecha) o la filtración del efluente.

Lagunas de alta tasa

Las lagunas aerobias de alta tasa (HRAP, *high rate algal ponds*), se diseñan para optimar la producción de algas y alcanzar altas producciones de material proteico. Su aplicación se centra en la remoción de nutrientes y el tratamiento de material soluble. Este tipo de lagunas requieren un mezclado continuo para

favorecer la acción fotosintética de las algas, un mayor nivel de mantenimiento y personal altamente capacitado. La profundidad varia entre 30 y 45 cm y por lo común sólo se operan en serie.

La laguna de alta tasa tiene mas ventajas con respecto a una facultativa ya que emplea tiempos cortos de retención y generan un efluente con elevado contenido de oxígeno disuelto. Un diseño con mezclado adecuado puede generar diariamente de 113 a 338 kg de algas/ha (34 a 90 kg de biomasa, como ceniza en peso seco). Las algas en el efluente de esta *laguna* sedimentan fácilmente. Se estima que del 70 al 80% de las algas pueden removerse, en uno o dos días, por clarificación. Las algas provenientes de este sistema tienen una baja tasa de respiración y pueden permanecer en los lodos por meses o años, sin liberar cantidades significativas de nutrientes. Por otro lado, las algas pueden también considerarse como agentes para remover nutrientes (consumen nitrógeno, fósforo y potasio); como sustrato para la producción de biogás; como un medio selectivo para la remoción de metales pesados (como el oro, la plata y el cromo); o como alimento para peces e invertebrados acuáticos. Cabe mencionar que 1 kg de algas fermentadas puede producir metano suficiente para generar un kW-h de electricidad que comparado con los requerimientos energéticos para producir 1 kg de algas (0.1 kW-h) resulta conveniente. Durante su crecimiento, este kilogramo de algas puede producir cerca de 1.5 kg de O₂ por tanto, se puede decir, que la eficiencia de oxigenación de la *laguna* es del orden de 15 kg O₂/kW-h. Considerando que la aeración mecánica transfiere cerca de 1 kg O₂/kW-h, las algas generan 15 veces más rápido oxígeno sin costo alguno. Debido a que generalmente se produce un excedente de oxígeno disuelto, algunos efluentes son usados como recirculación a *lagunas* primarias para absorber olores, reducir el área de fermentación y asegurar la presencia de algas productoras de oxígeno en la capa superficial de la *laguna* primaria.

Los beneficios de las algas en las *lagunas* de alta tasa es su tendencia a

aumentar el pH del agua. Un pH de 9.2 por 24 horas puede eliminar el 100% de la *E. coli* y gran cantidad de bacterias patógenas.

Si el agua tratada se va a utilizar para riego, no es necesario remover las algas pero el tanque de sedimentación o almacenamiento debe ser capaz de alcanzar un valor de coliformes fecales $< a 10^3$ de NMP, que es suficiente para cumplir con la normatividad mexicana.

Lagunas de estabilización aeradas en forma artificial

Las *lagunas* aeradas son una mejora del proceso de lagunas de estabilización que emplea aeradores para resolver los problemas de malos olores producidos por sobrecargas de materia orgánica y disminuir los requerimientos de área. Los sólidos se mantiene en suspensión en todo el cuerpo de la *laguna*, siendo más parecido el proceso al sistema de lodos activados sin recirculación que a una *laguna aerobia* con suministro natural de oxígeno.

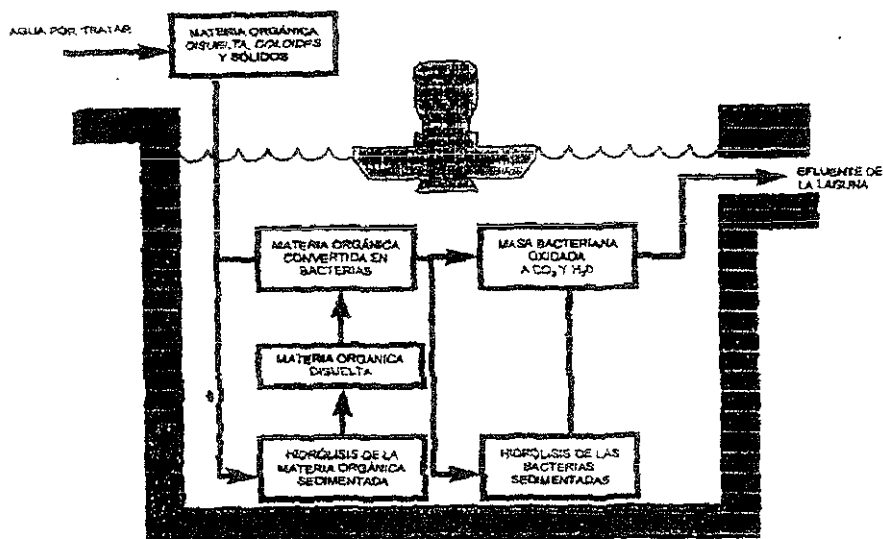


Figura de una laguna de estabilización aerada en forma artificial.

Este tipo de lagunas se emplean en el tratamiento de residuos domésticos de pequeñas y medianas ciudades así como de efluentes industriales (papelera, procesamiento de alimentos y petroquímica). En estos sistemas no se encuentran algas, y la mayor cantidad de organismos presentes son bacterias, protozoarios y rotíferos.

Lagunas de pulimento o de maduración.

Estas lagunas se utilizan después de otros procesos con dos fines: mejorar la calidad del agua tratada, o bien, reducir la cantidad de microorganismos patógenos. En algunas ocasiones se emplean para nitrificar.

Los procesos biológicos que se realizan en las lagunas de maduración son similares a los de las lagunas aerobias, aunque la fuente de carbono proviene principalmente de las bacterias formadas en las etapas previas del tratamiento. El nitrógeno amoniacal es convertido a nitratos mediante el oxígeno presente en la laguna por fotosíntesis de las algas y por reaeración natural.

La muerte de las bacterias en las *lagunas* de pulimento depende de varios factores ambientales y climatológicos. En consecuencia, una mayor exposición a la luz solar y el incremento en la concentración de algas implica un aumento en la tasa de remoción de las bacterias fecales y de patógenos.

A continuación se mencionarán los factores que influyen sobre los distintos aspectos de la depuración alcanzada en este tipo de lagunas de estabilización.

Eliminación de patógenos

Las bacterias coliformes se utilizan como indicadores de la calidad del agua desde el punto de vista de su contaminación por microorganismos patógenos, es decir, causantes de enfermedades. Su eliminación en las lagunas de estabilización se debe a la acción combinada de varios factores, que en conjunto crean unas condiciones muy desfavorables para su supervivencia. Los factores que afectan a la desaparición de microorganismos patógenos en las lagunas de estabilización pueden dividirse en las categorías siguientes:

- **Físicos:** La temperatura y sedimentación son los dos factores más importantes. La sedimentación consiste en la incorporación al fondo de la laguna de agregados de microorganismos, debido a que su peso específico es mayor que el del agua. Una vez que se produce su depósito en el fondo, estos agregados son atacados por bacterias que se desarrollan en la capa de fango, y finalmente desaparecen.

Como ocurre con todos los procesos biológicos, la temperatura es un factor muy importante en la velocidad de desaparición de microorganismos patógenos. Por tanto la eficiencia de reducción de patógenos es máxima durante los meses de verano.

- Físico-químicos: La salinidad del agua, pH, concentración de oxígeno disuelto e intensidad de la luz solar son los factores físico-químicos más influyentes. El tiempo de supervivencia de los microorganismos patógenos varía inversamente con la salinidad del medio. Puesto que las lagunas de estabilización aerobias son, en general utilizadas como la última etapa del tratamiento, la evaporación en estas lagunas y en las etapas anteriores determina un aumento en la concentración de sales que resulta beneficioso desde este punto de vista. Sin embargo, este aumento de salinidad puede ser perjudicial si el efluente va a utilizarse en riegos.

La eliminación de patógenos aumenta con el pH de la laguna. La actividad del fitoplancton da lugar a un aumento del pH, mientras que la actividad metabólica de las bacterias genera un descenso en el pH. Puesto que en las lagunas de maduración la carga orgánica es muy baja, se produce una generación muy escasa de CO₂.

La presencia de oxígeno disuelto, y sobre todo el efecto de choque del paso entre lagunas facultativas con concentraciones bajas o moderadas de oxígeno a lagunas de maduración con concentraciones elevadas, da lugar a un aumento en la velocidad de eliminación de patógenos.

La eliminación de patógenos es mucho más rápida en presencia de luz, por lo que debe evitarse la construcción de lagunas de estabilización aerobias profundas en las que buena parte de la columna de agua se encuentra en la oscuridad. Por la

misma razón, la eliminación de patógenos es mucho más eficaz en días despejados, especialmente al comienzo del verano, cuando la duración del día es máxima.

- Factores bioquímicos. La concentración de nutrientes, presencia de compuestos tóxicos son los principales factores bioquímicos implicados en la eliminación de patógenos.

La limitación en nutrientes es un factor muy importante, no sólo por su efecto directo sobre la posibilidad de crecimiento de los microorganismos patógenos, sino por la competencia con otros microorganismos mejor adaptados que aquellos al medio.

Las algas secretan sustancias tóxicas que afectan a los microorganismos patógenos, algunas de ellas muy activas en presencia de la luz.

Finalmente, otro efecto de las lagunas de estabilización aerobias es la clarificación del efluente, sobre todo cuando se cuenta con varios módulos en serie. Este efecto se consigue debido a la sedimentación de las algas, presencia de predadores como la pulga de agua y el empobrecimiento del agua en nutrientes que impide nuevos crecimientos de microorganismos.

Lagunas anaerobias

El objetivo primordial de estas lagunas es la reducción de contenido en sólidos y materia orgánica del agua residual. Por esta razón, las lagunas anaerobias pueden operar en serie con lagunas aerobias y las facultativas. Generalmente se utiliza un sistema compuesto por al menos una laguna de cada tipo en serie, para asegurar que

el efluente final de la planta depuradora va a poseer una calidad adecuada durante todo el año.

Como su nombre indica, en las lagunas anaerobias se produce la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. En estas condiciones, la estabilización tiene lugar mediante las etapas siguientes

- **Hidrólisis.** Este término indica la conversión de compuestos orgánicos complejos e insolubles en otros compuestos más sencillos. Esta etapa es fundamental para suministrar los compuestos orgánicos necesarios para la estabilización anaerobia en forma que puedan ser utilizados por las bacterias responsables de los procesos de degradación de la materia orgánica.

- **Formación de ácidos.** Los compuestos orgánicos sencillos son utilizados por las bacterias generadoras de ácidos. Como resultado se produce su conversión en ácidos orgánicos volátiles, fundamentalmente en ácidos acético, propiónico y butírico. Esta etapa la llevan a cabo bacterias anaerobias. Hay una gran variedad de bacterias capaces de efectuar la etapa de formación de ácidos, y además esta conversión ocurre con gran rapidez. Dado que estos productos del metabolismo de las bacterias formadoras de ácido o acidogénicas están muy poco estabilizados en relación con los productos de partida, la reducción de DBO en esta etapa es pequeña.

- **Formación de metano.** Una vez que se han formado ácidos orgánicos, una clase de bacterias entra en acción, y los utiliza para convertirlos finalmente en metano y dióxido de carbono. El metano es un gas combustible e inodoro, y el dióxido de carbono es un gas estable, que forma parte en poca cantidad de la composición normal de la atmósfera.

La liberación de estos gases es responsable de la aparición de burbujas, que

son un síntoma de buen funcionamiento en las lagunas anaerobias. Esta fase de la depuración anaerobia es fundamental para conseguir la eliminación de materia orgánica, ya que los productos finales no contribuyen a la DBO del medio.

Las bacterias metanígenas son anaerobias estrictas, es decir, mueren en presencia de oxígeno disuelto. Por otra parte, estas bacterias son también muy sensibles al pH. Se estima que para valores de pH inferiores a 6,8 la actividad metanígena comienza a presentar problemas, y que por debajo de $\text{pH}=6,2$ se detiene completamente. Cuando esto ocurre se liberan no sólo ácidos orgánicos que pueden tener olores desagradables, sino otros compuestos como ácido sulfhídrico (H_2S), mercaptanos o escatol, que son los responsables principales de los olores que indican funcionamientos deficientes en las lagunas anaerobias.

Teniendo en cuenta la secuencia de etapas por las que tiene lugar la digestión anaerobia, es necesario ajustar las condiciones operativas de las lagunas para que se produzca la estabilización de la materia orgánica hasta los productos finales metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2).

Primeramente, si se opera con tiempos de retención muy pequeños, sólo las fases hidrolítica y acidogénica tienen tiempo de desarrollarse, pero no la de formación de metano, que es más lenta, y por tanto, se producirán olores y se obtendrá una eliminación muy baja de la materia orgánica. Por otra parte, si la carga es escasa y el tiempo de retención elevado, comienzan a desarrollarse algas en superficie, y el oxígeno producido da lugar a la muerte de las bacterias metanígenas, también con el resultado de desarrollo de olores desagradables. Por tanto, las lagunas anaerobias requieren un mantenimiento adecuado para preservar en todo momento el equilibrio entre las fases responsables de la depuración.

Otro factor que influye en el comportamiento de las lagunas anaerobias es la

temperatura. Las bacterias metanigenas crecen mejor cuanto mayor es la temperatura, con un intervalo óptimo de crecimiento entre 30-35° C, lo que puede comprobarse fácilmente observando la cantidad de burbujas que aparecen en superficie en las distintas épocas del año.

Lagunas facultativas

Las lagunas facultativas son aquellas que poseen una zona aerobia y una zona anaerobia, situadas respectivamente en superficie y fondo. Por tanto, en estas lagunas se pueden encontrar una amplia variedad de microorganismos, desde anaerobios estrictos en el fango del fondo hasta aerobios estrictos en la zona inmediatamente adyacente a la superficie. Sin embargo, los mejor 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.

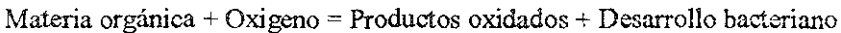
A diferencia de lo que ocurre con las lagunas anaerobias, el objetivo perseguido en las lagunas facultativas es obtener un efluente de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica, y una reducción en el contenido en nutrientes y bacterias coliformes.

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

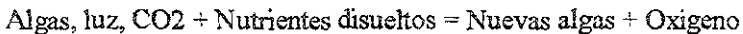
el tratamiento, las lagunas facultativas se diseñan de forma que se favorezcan los mecanismos de oxigenación del medio.

Las dos fuentes de oxígeno en lagunas facultativas son la actividad fotosintética de las algas y la reaeración a través de la superficie. Puesto que las algas necesitan luz para generar oxígeno, y la difusión de éste 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.

Las bacterias oxidan los productos de desecho 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 y demanda química de oxígeno del agua a su paso por 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. En consecuencia es necesario conocer estas variables:

Temperatura

Como ocurre con todos los procesos biológicos, la temperatura presenta una influencia marcada en todas las etapas. En general, 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, y en lo que respecta a las algas, se han detectado retardos importantes en la actividad fotosintética a temperaturas superiores a 28° C, esto por el hecho de que a esta temperatura se estimula el crecimiento de algas verdiazules (cianofíceas), menos productivas que las algas verdes (clorofíceas) a las que sustituyen. 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 de forma brusca. Normalmente esta situación es transitoria y las lagunas vuelven a funcionar correctamente al cabo de poco tiempo.

La depuración en lagunas facultativas es más lenta durante los meses de invierno, lo que debe tenerse en cuenta a la hora del diseño para evitar sobrecargas y mal funcionamiento en la época fría del año.

Radiación solar

La radiación del sol 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 sobre todo 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.

Ya 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. Esta evolución se observa mejor durante la primavera y verano, cuando la actividad fotosintética es más intensa.

Viento

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

1. La reaeración 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. En general, se considera que una evaporación diaria de 5 milímetros no provoca efectos apreciables en las lagunas. La repercusión principal de la evaporación es la concentración de los sólidos que contiene el agua almacenada. El consiguiente aumento de la salinidad puede resultar perjudicial para los microorganismos por lo que es importante considerar esta variable.

A continuación se expone una tabla en donde se resumen los diferentes tipos de lagunas de estabilización que se utilizan comúnmente en la actualidad, están señaladas sus principales características así como sus aplicaciones.

TIPOS Y APLICACIONES DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE USO
COMUN

Tipo de laguna	Nombre común	Características	Aplicación
Aerobia	Baja tasa	Diseñada para mantener condiciones aerobias a través de toda la profundidad.	Tratamiento de desechos orgánicos solubles y efluentes secundarios.
	Alta tasa	Diseñada para optimizar la producción de algas	Remoción de nutrientes, tratamiento de desechos orgánicos y remoción de desechos
	Maduración	Similar a las lagunas de baja tasa pero con carga de iluminación	Usada para pulir los efluentes del tratamiento secundario convencional
Aerobia-anaerobia (aeración como fuente de oxígeno)	Facultativa con aereación	Más profunda que las de alta tasa, la aereación y la fotosíntesis proveen el oxígeno para la estabilización aerobia en las capas superiores	Tratamiento de cribado para aguas no tratadas o sedimentación primaria de aguas residuales.
Aerobia-anaerobia (algas como fuente de oxígeno)	Facultativas	Lo mismo que la anterior, excepto que no tiene aereación. La fotosíntesis y aereación de la superficie provee de oxígeno las capas superiores	Tratamiento de cribado para aguas no tratadas o sedimentación primaria de aguas residuales o desechos industriales.
Anaerobia	Anaerobia, laguna de pretratamiento anaerobio	Condiciones anaerobias prevalecen en todas partes, seguida generalmente por lagunas aerobias o facultativas.	Tratamiento de aguas residuales municipales e industriales
Anaerobia seguida de aerobia anaerobia y aerobia	Sistema lagunar	Combinados de tipo de lagunas descritas arriba. Lagunas aerobias-anaerobias pueden ser seguidas por una laguna aerobia. Frecuentemente se utiliza recirculación de lagunas aerobias a las anaerobias	Tratamiento completo de aguas residuales municipales e industriales con alta remoción de bacterias

Fuente: Apuntes de tratamiento de aguas residuales (2000). Ing. MSP Rafael López Ruiz. UNAM, Fac. de Ingeniería, México.

Bibliografía cap.2

CNA, Manual de diseño de lagunas de estabilización. Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Subdirección general técnica, gerencia de ingeniería básica y normas técnicas. México.

López Ruiz, Rafael Ing. MSP (2000). Apuntes de tratamiento de aguas residuales. Fac de Ingeniería, UNAM, México.

Módulo de tratamiento de Aguas Residuales (2000). Unidad 6 Lagunas. CIDTA, Universidad de Salamanca, España.

UNAM (1996) Lagunas de estabilización. Apuntes del curso. Fac. Ingeniería, México.

IMTA, CNA, TACSA (1994). Manual de operación y mantenimiento de sistemas lagunares. Centro de capacitación, Jiutepec Morelos, México.

CAPITULO 3.- CONSTRUCCION Y FUNCIONAMIENTO DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION.

3.1 EL DISEÑO DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION.

La aplicación de las *lagunas* como método de tratamiento se dio en forma casual por lo que las primeras no se diseñaron, simplemente algunas existentes se usaron y funcionaron. Posteriormente se han establecido criterios (apoyados ya sea en modelos matemáticos, conceptualizaciones teóricas y/o en la experiencia) con los que se obtienen sistemas confiables para predecir la calidad de los efluentes. De hecho, dado el gran tamaño de las lagunas los más útiles son los más simples que se derivan de la experiencia mientras que los más complicados ayudan a entender el proceso.

Conceptos básicos de diseño

Para realizar en forma apropiada el diseño y la operación de una *laguna* es necesario entender claramente el significado de los siguientes conceptos en los que se basan la mayoría de los criterios y recomendaciones

Tiempo de retención hidráulica (*t*). Es el tiempo que teóricamente pasa el agua dentro del sistema de tratamiento biológico y que se utiliza en el diseño. Se puede estimar a partir de la siguiente relación:

$$t = V/Q$$

donde:

V: Volumen total del líquido contenido dentro de la *laguna*, m³

Q : Gasto de agua, m³/d

Volumen efectivo (V_E). Es el volumen donde se realiza efectivamente el tratamiento biológico y es menor que el volumen total (V) debido a que toman en consideración los cortos circuitos y zonas muertas en la laguna. De la utilización de este volumen, se deriva el concepto de tiempo real de retención hidráulica

$$T = V_E/Q < t$$

donde

T : Tiempo promedio real de retención hidráulica, obteniendo a partir de un estudio de trazado,

V_E : Volumen efectivo de la laguna, m^3

Carga orgánica (C_0). Es la masa de sustrato (materia orgánica medida como DBO5 o DQO) que se aplica diariamente a la laguna y que será estabilizada en el tratamiento biológico. Su valor se expresa normalmente en kg de DBO₅ por unidad de tiempo. Se obtiene mediante

$$C_0 = S_i/Q$$

Donde S_i : Cantidad de materia orgánica presente expresada en DBO5 por m^3

Carga Orgánica superficial (C_s) Es la masa diaria de sustrato aplicado a la laguna por unidad de área superficial (A). Se expresa en $kgDBO/m^2 \cdot d$ y se estima mediante

$$C_s = S_i \times Q/A$$

Carga orgánica volumétrica (C_v). Es la masa diaria de sustrato aplicado a la laguna por unidad de volumen y tiempo. Se expresa en $kgDBO$ o $DQO/m^3 \cdot d$ y se

calcula mediante

$$Cv = \frac{Si \times Q}{V}$$

Cabe mencionar que tanto para la carga orgánica superficial como para la volumétrica es común omitir el término orgánico.

De acuerdo al Manual de Diseño de Lagunas de Estabilización de la Comisión Nacional del Agua, a continuación se muestran los métodos de diseño de los diferentes tipos de lagunas de estabilización: Lagunas aerobias, Lagunas anaerobias y Lagunas facultativas.

Lagunas aerobias

Lagunas aerobias con oxigenación natural

Una laguna aerobia sin aeración superficial se puede diseñar para una producción máxima de algas o de oxígeno (lagunas aerobias de alta tasa), o bien, para mantener las condiciones aerobias a través de toda la laguna (lagunas aerobias de baja tasa). En este tipo de reactores, el oxígeno es provisto por la fotosíntesis y la reaeración. En general, el tiempo de retención es de 3 a 5 días con profundidades de 0.3 a 0.45 m y remociones entre el 80 y 95% de la DBO soluble. La concentración de DBO_T , que incluye la producida por las algas excede, y en mucho, la concentración de la DBO del influente, pero como las algas no forman parte de la carga contaminante, se deben separar antes de evaluar la eficiencia de la laguna. Los lodos que sedimentan en la laguna deben ser removidos una vez cada 2 a 4 años para evitar la formación de capas anaerobias.

Las lagunas aerobias de baja tasa se aplican como un postratamiento a

efluentes secundarios por lo que requieren tiempo de retención mayores para garantizar un tratamiento adecuado.

El proceso para diseñar lagunas aerobias es similar a los empleados para lagunas facultativas, con base en la carga orgánica superficial y el tiempo de retención hidráulico. Las plantas de mayor tamaño se diseñan como reactores de flujo completamente mezclado, usando dos o tres reactores en serie. Una segunda aproximación es el uso de ecuaciones que consideran una cinética de primer orden como la desarrollada por Wehner-Wilhelm para un reactor con un régimen arbitrario (entre un flujo pistón y uno completamente mezclado). En la TABLA 3.1 se indican algunas recomendaciones de diseño para las lagunas aerobias.

TABLA 3.1
RECOMENDACIONES DE DISEÑO DE LAGUNAS AEROBIAS

RECOMENDACIÓN DE DISEÑO	LAGUNAS AEROBIAS DE BAJA TASA	LAGUNAS AEROBIAS DE ALTA TASA
Tiempo de retención, d	10 a 40	4 a 6
Profundidad, m	0,90 a 1,20	0.30 a 0.45
Carga superficial ^b , kg/ha.d	67 a 135	90 a 180
Conversión de DBO ₅ , %	80 a 95	80 a 95

Notas:

a Dependiendo de las condiciones climáticas

b Valores típicos. Se han aplicado valores muy superiores en diferentes plantas

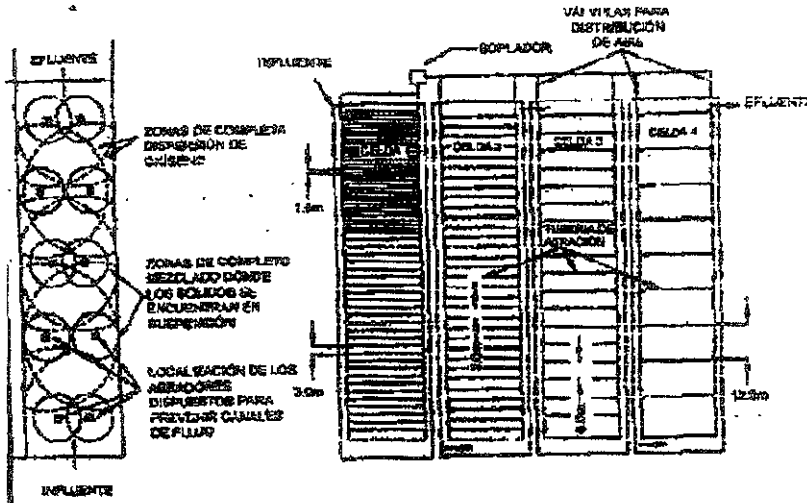
FUENTE METCALF y EDDY, 1991

Lagunas aeradas en forma mecánica

Una Laguna aerada se puede definir como una variante del tratamiento de lodos activados en la que los lodos biológicos se mantienen en equilibrio con los contaminantes aplicados a componentes de las lagunas residuales. Este sistema difiere del de lodos activados convencional en que no es necesaria la recirculación de la biomasa activa y que la concentración de los microorganismos depuradores no es muy alta. Esta falta de organismos es compensada por un volumen considerable del tanque, correspondiente a varios días (3 a 20) de retención del agua por tratar.

Por lo común, son tanques con profundidad de 2 a 6 m en el cual el oxígeno es proporcionado por difusores o sistemas mecánicos de aeración. La figura 3.1 muestra la distribución de los aeradores superficiales y la figura adjunta, la correspondiente a difusores.

FIGURA 3.1 Líneas de distribución de aeradores superficiales y difusores en la primer laguna.



La transferencia de oxígeno en el agua depende de diferentes parámetros: calidad del agua, temperatura y presión atmosférica (altitud). El movimiento generado durante la aeración debe ser eficiente de manera que asegure la repartición uniforme del oxígeno disuelto en toda la extensión de la *laguna*.

En los sistemas aerados artificialmente no sólo se aplican las cantidades de oxígeno requeridas sino que se mantiene un contacto estrecho y uniforme con la biomasa, el material contaminante y el oxígeno disuelto en toda la extensión de la *laguna* alcanzando tasas de oxidación de 1.5 a 2.0 d⁻¹ y, en ocasiones, incluso más elevadas. Tal intensificación en el proceso de tratamiento permite incrementar la capacidad de oxidación en la *laguna* y, como resultado, el tiempo de retención se reduce considerablemente, asegurando más o menos tasas normales para las reacciones bioquímicas durante el periodo de invierno. Más aún, se puede aumentar la profundidad de la *laguna* (5 a 6 m), lo que ayuda a disminuir los requerimientos de área.

Debido al corto tiempo de retención, la comunidad biológica de este tipo de *lagunas* no es tan diversa como en las *lagunas* facultativas. Las bacterias son la especie microbiana predominante. Todo esto permite la producción de un efluente con una calidad mejor y más constante durante todo el año.

Los principales factores para la determinación de una *laguna* aerada son: la remoción de la DBO, la aeración y la producción de lodos. Dado que la tasa de biodegradación es mayor que en las *lagunas* no aeradas, las cantidades de oxígeno producido por las algas no constituyen un factor de diseño. La Fig. 3.2 muestra un esquema general de las lagunas aeradas.

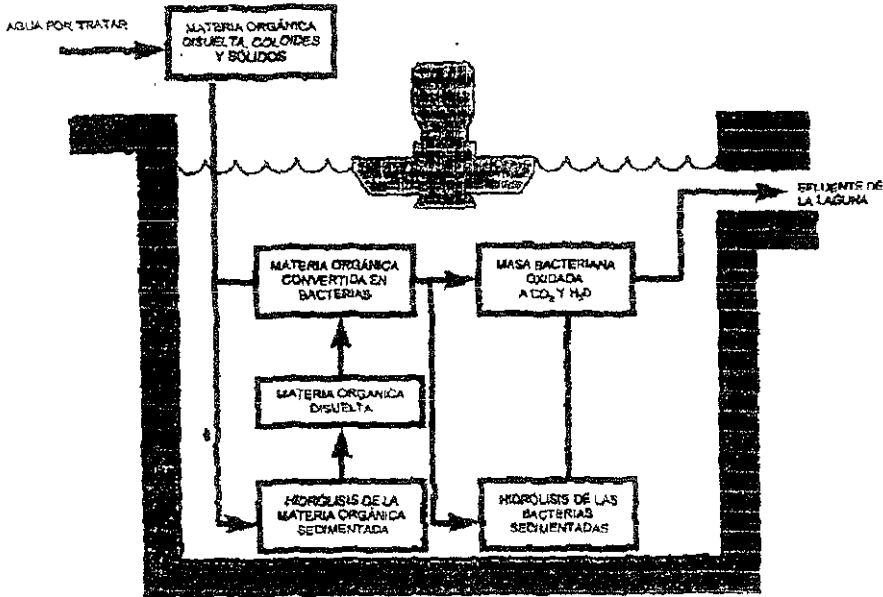


FIG. 3 2 Esquema de laguna aerada.

Diseño de lagunas anaerobias

El diseño de lagunas anaerobias se lleva a cabo mediante procedimientos empíricos. Los parámetros de diseño más adecuados para lagunas anaerobias son la carga volumétrica y el tiempo de retención hidráulico, la depuración en medio anaerobio es independiente de los fenómenos de superficie (reaireación, fotosíntesis) que desempeñan un papel primordial en las lagunas facultativas y de maduración.

A pesar de esto, existen varios procedimientos basados en la carga superficial necesaria para mantener una laguna en condiciones anaerobias, aunque los datos sugeridos por distintos autores varían enormemente. Por ejemplo, Eckenfelder (1970) presenta datos relativos a lagunas anaerobias con cargas superficiales entre

280-4,500 kg DBO5/ha día y profundidades entre 2,5-5 m, en las que se alcanzan reducciones en la DBO5 entre 50-80 %. Otros estudios sugieren un límite inferior de 1,000 kg DBO5/ha día para mantener el medio anaerobio. La Agencia de Protección de Medio Ambiente de Estados Unidos sugiere un intervalo de 220-1,100 kg DBO5/ha día.

Las lagunas anaerobias en general reciben altas cargas orgánicas y no cuentan con zonas aerobias. Comúnmente, son de 2.5 a 5 m de profundidad. Las dimensiones se seleccionan dando una relación mínima del área superficial/volumen de manera que tenga una retención calorífica máxima (Erkenfelder jr., 1989). La remoción de DBO en el sistema es debida a la sedimentación y adsorción de los sólidos (fig. 3.3).

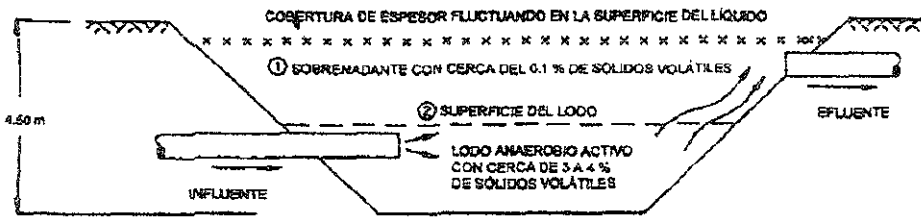


Fig. 3.3 Laguna anaerobia (esquema).

En cuanto a procedimientos basados en la carga volumétrica, se han sugerido distintos intervalos y límites. En la tabla 3.2 se han recogido algunos de estos datos para el caso particular de México.

TABLA 3.2

Intervalos de carga volumétrica recomendados para el diseño de lagunas anaerobias en México

Temperatura ° C	Carga Volumétrica g/m ³ .d	Referencia
< 10	100	CNA e IMTA, 1994
10-20	20-100	CNA e IMTA, 1994
> 20	300	CNA e IMTA, 1994

Por último, el tiempo de retención hidráulica es el parámetro de diseño más utilizado para lagunas anaerobias. Sin embargo, y como ocurre en los casos anteriores, la variabilidad de los datos presentados por distintos autores es muy grande. Por tanto, el proyectista debe seleccionar cuidadosamente entre los diferentes métodos existentes aquellos que se hayan deducido en las condiciones más similares a las de la planta que se proyecta. En la tabla 3.3 se han recogido los intervalos de tiempo de retención recomendados por distintos autores.

TABLA 3.3

Tiempos de retención hidráulica recomendados para el diseño de lagunas anaerobias

Tiempo de retención (días)	Referencia
0.8 - 5	Romil, 1990
5	Mara, 1976
2.5 - 3	Thirumurti, 1991
2-5	Molina y Rios, 1976

En cuanto a la eliminación de materia orgánica como DBO5, los valores encontrados oscilan entre 50 % en invierno y 80 % en verano, con temperaturas superiores a 25° C (W. H. O., 1987). Se ha sugerido la siguiente fórmula empírica para la reducción de materia orgánica en lagunas anaerobias en función del tiempo de residencia:

$$L_p = L_o / kn(L_q/L_o)^n (R+ 1)$$

Donde:

L_p = Reducción de materia orgánica por unidad de tiempo.

L_o = DBO5 del influente (mg/l);

L_q = DBO5 del efluente (mg/l);

R = tiempo de retención (días);

n = exponente empírico, adimensional, y

kn = coeficiente de diseño, adimensional.

Esta ecuación se considera válida en climas tropicales y subtropicales.

Como puede verse a partir de los datos anteriores, la gran variabilidad en los métodos propuestos por diferentes autores introduce un elevado nivel de incertidumbre a la hora del diseño de lagunas anaerobias.

Con el fin de proporcionar unas líneas maestras básicas para el diseño de lagunas anaerobias, la Organización Mundial de la Salud (OMS) propone los siguientes criterios para temperaturas superiores a 22° C:

- Carga volumétrica inferior a 300 g DBO5/m3. día, y/o
- Tiempo de retención del orden de 5 días;

- Eliminación de DBO5 del orden del 50 %,
- Profundidad entre 2,5 y 5 m.

Estos criterios son conservativos, pero proporcionan una primera aproximación al diseño en ausencia de datos específicos. Además, la OMS recomienda que se cuente con al menos dos lagunas anaerobias en paralelo para asegurar la continuidad de la operación en caso de limpieza y retirada de los fangos en una de las dos unidades. La frecuencia con que ha de llevarse a cabo esta limpieza se calcula en base a una acumulación media de 40 litros de fango por persona y año. Se recomienda que la limpieza se lleve a cabo cuando el volumen de fangos acumulado es igual a la mitad del volumen de la laguna anaerobia. Por tanto, el intervalo en años en que debe limpiarse la laguna es el siguiente:

$$T = \frac{\text{Volumen de la laguna (m}^3\text{)}}{2 \text{ (velocidad de acumulación de fango, m}^3\text{/hab./año) (población)}}$$

DISEÑO DE LAGUNAS FACULTATIVAS

Las lagunas facultativas son las más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. También se les denomina lagunas de oxidación de agua residual de agua residual doméstica o laguna fotosintética. El tiempo de retención hidráulica varía de 5 a 30 días y la profundidad de 1.5 a 2 m, dependiendo de su localización geográfica, clima y del volumen requerido para almacenar el lodo sedimentado. Se recomienda mantener un bordo libre de 0.5 a 0.8 m para minimizar los efectos del viento y el oleaje así como absorber temporalmente sobrecargas hidráulicas (fig. 3.4)

El parámetro de diseño más importante de las lagunas facultativas es la producción de oxígeno. La principal fuente es la fotosíntesis de las algas y, la segunda, el aire atmosférico transferido por la acción del viento. El oxígeno es usado por las bacterias aerobias para la estabilización de la materia orgánica en la capa superior. Entre la capa aerobia y anaerobia, la concentración del oxígeno disuelto varía de la sobresaturación al medio día a un nivel prácticamente no detectable durante las primeras horas de la madrugada.

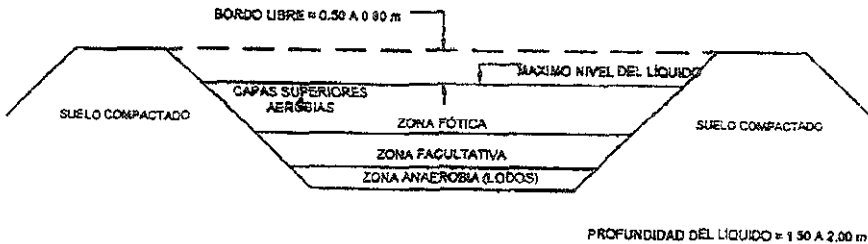


Fig. 3.4 Laguna facultativa (esquema).

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

1. 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 a la depuración 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).

2. 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:

1. La composición de la alimentación se considera constante a lo largo del año
2. El régimen hidráulico corresponde a un modelo ideal de flujo.
3. No se producen sedimentaciones parciales de la materia orgánica hacia el fango del fondo, es decir, no se define el sistema detrítico.
4. Las pérdidas por infiltración en el terreno y evaporización se consideran despreciables, o se compensan por los aportes por precipitación.
5. Las lagunas funcionan en régimen estacionario.

6. La cinética de la depuración es de primer orden, con una constante de velocidad que se define normalmente como función exponencial de la temperatura.

3. 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 la depuración en lagunas. Fundamentalmente, en ellos se considera que las lagunas son sistemas dinámicos, con cinéticas complejas y regímenes no ideales de flujo. Estos métodos se basan en la modelización matemática de las interacciones físico-químicas y biológicas responsables de la depuración 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.

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. Como ocurría en las lagunas anaerobias, existe una gran diversidad de intervalos recomendados por distintos autores, como consecuencia de la variedad de situaciones en los que éstos se han deducido. La Organización Mundial de la Salud (W. H. O., 1987) 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 estos métodos, los más conocidos son los siguientes:

- *Ecuación de Arceivala* (W. H. O., 1987). Esta ecuación relaciona la carga superficial admisible con la latitud de la laguna. Se dedujo a partir de datos recogidos en India, y en principio, por tanto, es aplicable al diseño en este país, y en un intervalo de latitud entre 8° N-36° N:

$$L \text{ (Kg DBO5/ha día)} = 375 - 6,25 \text{ (latitud)}$$

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 McCoary-Pescod que veremos a continuación son conceptualmente análogas.

- *Método de McGarry y Pescod* (1970). 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:

$$L_{\max} = 11,2 (1,054)^T$$

Puesto que la carga admisible máxima aumenta con la temperatura, en el diseño se utiliza la aproximación más conservativa, 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:

$$L_{max} = 7,5 (1,054)^T$$

TABLA 3.4
Métodos empíricos de diseño de lagunas facultativas

Método	Criterio o ecuación	Intervalo de aplicabilidad
Organización Mundial de la Salud, 1987	Carga superficial 200-400 kg.DBO ₅ /ha/día	Climas templados y cálidos
Arceivala, 1970	$L(\text{kg.DBO}_5/\text{ha/día}) = 375 - 625$	India
Mc Garry-Pescod	$L_{max} (\text{kg.DBO}_5/\text{ha/día}) = 11.2 (1.054)^T$	Carga Superficial 140-280 kg/ha/día
Mc Garry- Pescod modificado (Mara, 1976)	$L_{max} (\text{kg.DBO}_5/\text{ha/día}) = 7.5 (1.054)^T$	Carga superficial 140-280 kg/ha/día
Larsen, 1974	$MOT = (2.468^{red} + 2.46^{hc} + 23.9/\text{tempr} + 150.0/\text{dry}) \times 10^6$	Climas templados.

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 (W. H. O., 1987).

- *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:

$$MOT = (2,468RED + 2,468TTC + 23,9/TEMPR + 150,0/DRY) 106$$

donde las distintas variables se definen en la forma siguiente.

$$MOT = \text{Area (radiación solar)}^{1/3} / \text{Caudal influente (DBO5 inl.)}^{1/3}$$

$$RED = (DBO5 \text{ inl} - DBO5 \text{ eff}) / DBO5 \text{ inl}$$

$$TTC = \text{Velocidad viento (DBNO5 inl)}^{1/3} / (\text{radiación solar})^{1/3}$$

$$TEMPR = \text{Temperatura agua} / \text{Temperatura aire}$$

$$DRY = \text{humedad relativa}$$

Comparación de los modelos de diseño de las lagunas.

De acuerdo con Middlebrooks, la comparación entre los diversos modelos permite realizar una primera selección cualitativa del método idóneo para una situación en particular. Pero las limitaciones y exigencias de los propios modelos hacen difícil esta comparación. Sin embargo, se puede decir que para una región con condiciones climáticas adecuadas todos los modelos son equivalentes y, lo más práctico resulta emplear la carga orgánica aplicada en combinación con un tiempo de retención adecuado. Únicamente se deben considerar en forma adicional y particular, los problemas asociados a la generación de áreas muertas y cortos circuitos ya que abaten la eficiencia del tratamiento, así como algunos efectos de compuestos tóxicos. En otras palabras, la importancia del diseño hidráulico no debe ser menospreciado.

En cuanto a los modelos tradicionales de reactores bioquímicos que combinan la cinética en el sentido de introducir el tiempo necesario del proceso con los patrones de flujo, estos tienen la gran limitación de que hay que suponer antes de construir la laguna, una serie de parámetros, que en realidad son resultado del diseño. Esto es que aún cuando en el laboratorio se hayan determinado parámetros como el tiempo de retención, la única forma de corroborarlo es en la laguna construida.

Los modelos teóricos requieren muchas determinaciones a nivel laboratorio que sólo se aproximan en forma vaga a lo que sucede en la laguna debido al gran tamaño y complejidad ecológica de éstas. De ellos, es relevante que el diseñador tenga claro las recomendaciones prácticas que resultan de comprender los fenómenos como la insolación, el papel que juegan las algas, etc.

Sistemas combinados

Los sistemas lagunares múltiples e integrados forman un tratamiento más económico y seguro que los sistemas convencionales y se diseñan de la misma forma que los sistemas individuales.

Se pueden establecer distintas combinaciones de los tipos de lagunas en función de las características del agua a tratar, de las exigencias del efluente y de la disponibilidad de terreno, básicamente. Para agua residual de origen doméstico o equivalente, los sistemas más adecuados son:

- a) Facultativa + Aerobia
- b) Facultativa + Facultativa + Aerobia
- c) Anaerobia + Facultativa + Aerobia
- d) Anaerobia + Facultativa + Maduración

e) Facultativa + Facultativa + Maduración

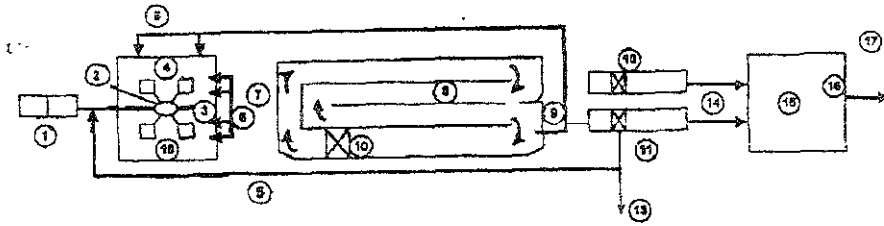
El establecimiento de líneas en paralelo es interesante en el caso de que exista fuerte estacionalidad y es útil en las lagunas primarias para evitar problemas de funcionamiento, facilitar el secado y la limpieza de lodos.

Los sistemas en serie se aceptan cuando se tiene disponibilidad de terreno y cuando, a partir de un balance económico, se obtiene un volumen mimo total. En general, en la primera laguna el volumen es minimizado para mantener la temperatura, la concentración de sólidos y la tasa de reacción de la DBO en niveles altos. La segunda, generalmente facultativa, tiene bajo requerimiento energético que permite la sedimentación de los sólidos y su descomposición en el fondo (fig 3.5). Para la remoción de coliformes fecales se emplean lagunas de maduración al final.

Asimismo, cuando se desea una baja concentración de sólidos suspendidos en el efluente se emplea un tanque de sedimentación, el cual debe cumplir con los siguientes objetivos:

1. Un tiempo de retención suficiente para alcanzar la remoción deseada
2. Volumen adecuado para el almacenamiento del lodo
3. Crecimiento mínimo de algas
4. Olores mínimos por la actividad anaerobia.

Fig. 3.5 Sistema lagunar integrado para el tratamiento del agua residual y agua aereada, recuperación de nutrientes o reuso.



- 1 REJAS Y DESARENADORES
- 2 DISTRIBUIDOR
- 3 FERMENTATIVAS
- 4 LAGUNA FACULTATIVA
- 5 RECIRCULACIÓN DE AGUA OXIGENADA
- 6 NIVEL DE TRANSFERENCIA MÍNIMO

- 7 MEZCLADO EN TUBERÍA
- 8 LAGUNA DE ALTA TASA
- 9 TRANSFERENCIA DE ALTO NIVEL
- 10 TANQUES DE PRESEDIMENTACIÓN DE ALGAS
- 11 LAGUNAS DE SEDIMENTACIÓN DE ALGAS
- 12 RECIRCULACIÓN DE ALGAS

- 13 PURGA DE ALGAS
- 14 TRANSFERENCIA DE BAJO NIVEL
- 15 LAGUNAS DE MADURACIÓN
- 16 TRANSFERENCIA DE ALTO NIVEL
- 17 RECuento DEL AGUA TRATADA
- 18 ABRACIÓN SUPLEMENTARIA

Sistemas con recirculación

La introducción de la recirculación de una laguna posterior a otra tiene varias ventajas como:

1. Disminuir los requerimientos de tierra.
2. Evitar la generación de olores.
3. Controlar las variaciones estacionales.
4. Incrementar en tres veces o más de la carga orgánica crítica, comparado con la carga permisible en una laguna facultativa.
5. Mantener las condiciones aerobias en la entrada de la primer laguna, para eliminar olores generados.
6. Distribuir la biomasa activa en la primer laguna
7. Romper la estratificación térmica, la cual reduce el funcionamiento de la laguna
8. Incrementar la estabilidad y pocos cambios en las variaciones estacionales. que afectan directamente la operación así como para las cargas orgánicas
9. Incrementar la capa de lodo sedimentado en todo el fondo de la laguna. Esta ventaja es marcada principalmente cuando se realiza la alimentación.

10. Reducir los costos energéticos y de inversiones de equipo en general (bombeo y tubería), así como de una fuente de poder.

El manejo de la recirculación se dio simultáneamente, pero en forma independiente, en Nueva Zelanda y el Sur de Africa con el propósito de permitir el tratamiento de altas cargas orgánicas en la primer laguna en un sistema en serie, sin la generación de malos olores ni molestias por vectores. En ambos países su implantación permitió tratar efluentes industriales con grandes variaciones de carga mejorando la operación de los sistemas de tratamiento.

3.2 ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS.

Las lagunas se construyen generalmente por excavación del terreno natural y formación de un bordo perimetral a fin de aumentar la capacidad de almacenamiento. Una parte del agua queda entonces retenida abajo del nivel del terreno natural y otra parte arriba. Si el suelo natural presenta características adecuadas, el producto de la excavación se emplea para la construcción del bordo. Con frecuencia, el almacenamiento se sobreexcava a mayor profundidad que la requerida por el proyecto ya que los depósitos naturales de suelo normalmente no tienen las características adecuadas para un desplante directo. Se sustituye entonces el material sobreexcavado por un relleno seleccionado bien compactado. Cuando la permeabilidad del terreno y de los bordos o las características del fluido almacenado lo hacen necesario, los taludes y el fondo se recubren con un revestimiento impermeabilizante adecuado que reduce las pérdidas de líquido por filtración.

La principal ventaja de las lagunas construidas en esta forma es su bajo costo. Con el advenimiento de equipo pesado para movimiento de tierras, este tipo de construcción puede realizarse en forma eficiente y económica, lo que explica que

las lagunas artificiales tengan actualmente tanta aceptación.

Es necesario realizar un estudio cuidadoso para evaluar si una laguna debe impermeabilizante. La decisión dependerá de la magnitud de las filtraciones previsibles y de las características de las aguas almacenadas.

Comúnmente se presentan 3 mecanismos de filtración en las lagunas, que a continuación se describen:

El mecanismo I se presenta cuando la posición del nivel freático puede considerarse como una condición de frontera fija del problema. El líquido se infiltra entonces en forma de esencialmente vertical descendente del almacenamiento al manto acuífero. Para que prevalezca esta condición, es necesario que las infiltraciones no alteren en forma significativa el nivel freático. Lo anterior ocurre cuando el manto acuífero tiene la posibilidad de descarga muy superior a las aportaciones por filtración del almacenamiento (figura 3.6).

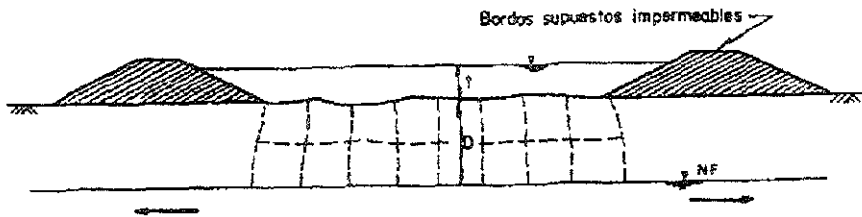


Fig. 3.6 Mecanismo de infiltración No. 1

El mecanismo II corresponde a suelos sensiblemente homogéneos en los cuales las filtraciones son suficientes para elevar la posición del nivel freático en el área del almacenamiento. En este caso, el flujo tiende a generarse

exclusivamente debajo de los bordos perimetrales. El gasto por filtración es entonces proporcional a la longitud de los bordos y depende de los coeficientes de permeabilidad del suelo (tanto horizontal como vertical) y de la diferencia entre el nivel del almacenamiento y el nivel freático Inducido en la periferia del estanque (generalmente definido por las condiciones de drenaje superficial). Las dimensiones de la laguna afectan el gasto por metro lineal de bordo puesto que de ellas depende el numero de canales de flujo que puede generarse (fig 3.7).

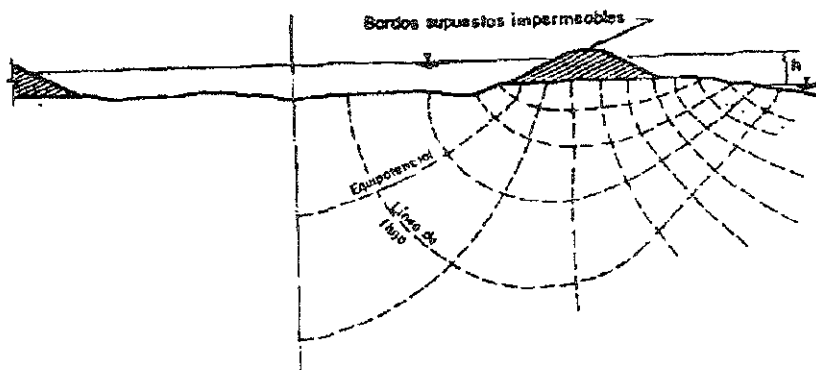


Fig. 3.7 Mecanismo de infiltración No. 2

Conviene hacer notar que la existencia de un mecanismo del tipo I o II no depende solamente de las condiciones físicas del subsuelo sino también de las dimensiones de la laguna y de la posición del nivel freático. Para una laguna y un subsuelo dado, si el mecanismo I da un gasto mayor que el mecanismo II, el segundo es el que prevalece. Esta situación es generalmente la que se da en lagunas grandes, al contrario, en lagunas pequeñas, es común la situación inversa.

El mecanismo III se presenta cuando existe una capa continua prácticamente

impermeable a determinada profundidad. Las condiciones de flujo del mecanismo II se modifican entonces en la forma indicada en la fig 3.8. Cuando existe una situación de este tipo, es común que se proponga la intercepción de las filtraciones mediante una trinchera de material impermeable (fig 3.9). Debe hacerse notar que, para que la trinchera sea útil, es necesario que su permeabilidad sea muy baja respecto al terreno superficial natural y que abarque todo su espesor.

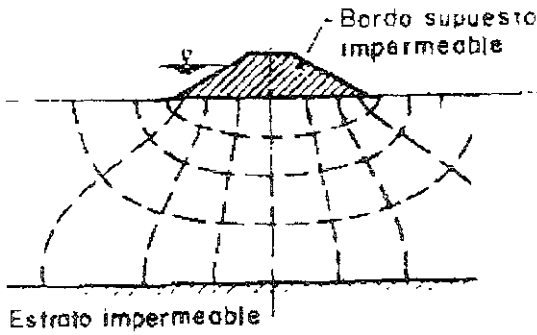


Fig. 3.8 Mecanismo de infiltración No. 3

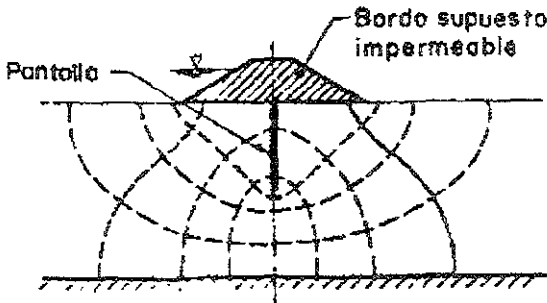


Fig. 3.9 Pantalla vertical para reducir filtraciones.

Mecanismos secundarios de filtración.

Además de presentarse a través de los mecanismos descritos en el punto anterior, las filtraciones pueden ocurrir debido a diversas condiciones peculiares del sitio o a defectos constructivos de los bordos o de su cimentación.

- Oquedades o grietas en el suelo de desplante

La presencia de oquedades y grietas en el suelo de cimentación puede obviamente ser una fuente de filtraciones importantes. Estas oquedades y grietas pueden ser naturales (por ejemplo en suelos calizos cársticos o rocas lávicas porosas) o ser producto de la actividad del hombre.

- Agrietamiento por secado de materiales arcillosos superficiales

En suelos muy plásticos, es común que se presenten arriba del nivel freático numerosas grietas por secado que no se cierran al llenarse las lagunas y dan lugar a filtraciones cuantiosas aun cuando el suelo en si tenga una baja permeabilidad.

- Grietas en los bordos construidos sobre terreno blando por asentamientos diferenciales de los mismos.

Los bordos desplantados sobre suelos muy compresibles heterogéneos o de espesor variable pueden presentar grietas verticales transversales que, si alcanzan el nivel del agua, pueden ser el origen de una falla del bordo por erosión.

- Fracturamiento hidráulico del subsuelo en caso de terrenos muy blandos.

En suelos extremadamente blandos como los de la zona compresible del

Valle de México, el llenado rápido de una laguna o la falla del revestimiento impermeable de la misma pueden provocar en el subsuelo profundas grietas por fracturamiento hidráulico, en las cuales la laguna se vacía en un tiempo extremadamente corto.

- Contacto defectuoso entre bordos y suelo de desplante

Este mecanismo de filtración es extremadamente común y se presenta cuando los bordos se desplantan sobre el terreno natural sin desmontar ni despalar adecuadamente. Cuando la capa superficial es permeable, es necesario interrumpir el flujo mediante una trinchera rellena con suelo compactado o una trinchera de lodos.

- Contacto defectuoso entre capas compactadas de los bordos

Las deficiencias en la liga entre capa y capa al construir bordos de tierra compactada pueden dar lugar a discontinuidades horizontales que incrementan considerablemente la permeabilidad del bordo. En los materiales compactados abandonados sin protección durante períodos prolongados se presentan grietas por secado que pueden tener consecuencias semejantes a las anteriores si no se remueven al reanudarse la construcción.

Estudio geotécnico.

Es necesario realizar un estudio geotécnico detallado del sitio, con los objetivos siguientes:

- Identificar los mecanismos más probables de filtración
- Verificar si la permeabilidad del terreno conduce a filtraciones

aceptables o no.

- Evaluar si los suelos locales pueden ser empleados para impermeabilizar o, en su caso, definir los problemas de estabilidad que estos suelos plantearán para la aplicación de un método de Impermeabilización dado.

La investigación geotécnica debe además proporcionar los elementos para el diseño del bordo (características mecánicas de la cimentación y de los materiales de construcción).

Exploración y pruebas de campo

a) Exploración superficial y recopilación de datos locales

La exploración superficial del sitio de la obra permite reunir datos preliminares valiosos respecto a la permeabilidad del subsuelo. Debe prestarse atención a la topografía, a la existencia de pozos y ojos de agua, al tipo de vegetación, a la presencia de grietas y al tipo de suelo existente en la superficie. También debe analizarse la experiencia que se tiene en la zona sobre comportamiento de lagunas. Este análisis debe hacerse, sin embargo, con gran cautela puesto que cada caso en particular tiene determinadas características propias que los pueden diferenciar entre sí.

b) Sondeos

Los sondeos para el estudio geotécnico se realizan con los objetivos siguientes:

- Definir la estratigrafía y los mecanismos de filtración más probables

que se pueden presentar. En este aspecto, la detección de estratos permeables que puedan constituir un dren natural debajo de la laguna es de gran importancia

Obtener muestras inalteradas de los diferentes estratos del subsuelo para poder determinar las propiedades mecánicas (permeabilidad, resistencia y compresibilidad) de los materiales en los que quedarán desplantados los bordos y el almacenamiento, y las características de los materiales de préstamo para la construcción.

c) Pruebas de permeabilidad de campo

La permeabilidad de formaciones naturales, generalmente compuestas por mantos de materiales con características muy variables y frecuentemente afectadas por discontinuidades, no puede ser evaluada solamente sobre la base de ensayos de laboratorio y es necesario recurrir a las pruebas de campo.

El tipo de prueba de permeabilidad útil en cada caso particular depende de varios factores, entre los que sobresale la profundidad a la que se desea realizar la prueba y de la posición del nivel freático.

Para las lagunas resultan útiles principalmente dos tipos de prueba:

- Pruebas superficiales o a poca profundidad para evaluar si el material superficial constituye un revestimiento de fondo natural adecuado para limitar las filtraciones a un valor aceptable. Las pruebas más sencillas para este fin son las de pozo de absorción, también conocidas como prueba Nashberg.

- Pruebas profundas, principalmente para materiales permeables, generalmente localizados abajo del nivel freático, y susceptibles de constituir

drenes horizontales bajo la laguna y los bordos. La prueba más adecuada para este fin es el ensaye Lefranc-Mandel.

Ensayos de laboratorio

a) Pruebas de identificación

Con el fin de aprovechar la experiencia existente, los materiales muestreados deben clasificarse de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Para ello, es necesario realizar el análisis granulométrico de los materiales gruesos y determinar los límites de consistencia de los materiales finos.

b) Pruebas de permeabilidad

Estas pruebas pueden ser útiles para los fines siguientes:

- Obtener un límite inferior de la permeabilidad del terreno natural. La permeabilidad determinada sobre especímenes inalterados es en general menor que la del suelo en el lugar normalmente afectado por todo tipo de discontinuidades.

- Determinar la permeabilidad de los materiales compactados que se emplearán para la construcción de los bordos y, en su caso, para el revestimiento impermeable.

- Verificar si no existe una interacción de tipo físico-químico entre el fluido que se almacenará y los materiales de construcción que pueda alterar la permeabilidad de estos últimos.

Los ensayos pueden realizarse usando un permeámetro de carga variable.

c) Pruebas de consolidación.

Las pruebas de consolidación unidimensional permiten determinar las curvas de compresibilidad requeridas para calcular los asentamientos que se presentarán por efecto de la carga transmitida por la laguna y, en su caso, de la saturación del suelo de cimentación.

d) Pruebas de resistencia al corte

Las pruebas de compresión simple y triaxiales tipo UU (no consolidada - no drenada) o CU (consolidada-no drenada) permiten obtener los parámetros de resistencia al corte requeridos para los análisis de estabilidad de los bordos y de su cimentación.

e) Prueba de erodibilidad.

Para verificar si los materiales de la cimentación y de construcción de los bordos y, en su caso, el revestimiento impermeable son susceptibles a la erosión y en particular verificar si se trata de arcillas dispersivas, es recomendable recurrir a la prueba conocida como pinhole test.

Una vez realizadas las pruebas puede determinarse si es necesario impermeabilizar el área de la laguna, de este tema se hablara más extensamente en el siguiente punto. Ya que si la tierra es muy permeable teóricamente puede suceder que la laguna nunca complete su llenado debido a la infiltración a través del fondo. En este caso, el nivel del agua se mantiene en un punto donde la carga estática, encima del fondo, es suficiente para lograr la entrada del fluido en la tierra porosa

subyacente. En la práctica, esta situación se supera con facilidad durante la puesta en marcha de las lagunas anaeróbicas o primarias. La retención se torna más difícil en el caso de lagunas secundarias o de maduración por la naturaleza de los sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales tratadas.

Para evitar esto se realizan los análisis ya descritos anteriormente, pero a pesar de ello, los resultados obtenidos son frecuentemente engañosos y las fallas pueden ser detectadas algunas veces sólo después de que los trabajos se han completado.

De cualquier modo, si se decide construir una laguna en tierra relativamente porosa, la superficie de la unidad debe ser hecha impermeable por medio de una capa compacta de 0.10 m de tierra arcillosa transportada de un sitio cercano. A primera vista no parece mucho, pero una hectárea requiere 1,000 m de revestimiento de arcilla.

Algunos diseñadores recomiendan capas más delgadas, por debajo de 0.05 m, pero se entiende que un revestimiento tan reducido difícilmente puede ser uniforme y es propenso a presentar fallas tales como grietas, derrumbes por lavado, subpresión, adhesión pobre al suelo original, etc.

Los revestimientos de polietileno y de vinilo han sido utilizados en algunas ocasiones pero el costo es relativamente alto. Si esta clase de impermeabilización es utilizada, usualmente debe revestirse tanto el fondo como los taludes. Los bordes del forro avanzan hacia la cima del dique donde deben ser fijados por los medios más adecuados. Los recubrimientos de plástico se utilizan por lo general en unidades relativamente pequeñas y más que nada en lagunas aeradas mecánicamente.

Aparentemente, ésta constituye una alternativa factible en lugar del revestimiento con arcilla, particularmente si ésta debe ser transportada desde una gran distancia. el caso de suelos con más de 70% de material granular por peso (grava o arena), el uso de suelo-cemento es una solución económica.

El suelo-cemento es preparado manualmente con el material extraído en el lugar, mezclándolo con 8-11% de cemento Portland, basado en sólidos secos. El suelo es aflojado manualmente con un rastrillo a una profundidad de cerca de 50 mm y se deja secar. La cantidad exacta de cemento es colocada sobre la arena en pequeñas cantidades iguales (8 a 10 kg/m), y distribuidos uniformemente. A continuación se mezcla bien con el suelo sin moverlo del lugar a fin de asegurar una capa uniforme. Finalmente se compacta. Si la tierra se ha dejado secar mucho como para presentar una cohesión pobre, una cantidad mínima de agua se añade cuidadosamente por medio de un envase para regar. El cuidado de curado es similar al utilizado para el concreto.

Parece ser que una cantidad de 8 Kg de cemento Portland por m² de fondo de laguna es competitiva, en costo, con cualquier otro medio de revestimiento, aún a un costo de mano de obra mucho mayor.

Revestimiento de taludes

En términos generales, el revestimiento de un talud suave es innecesario. Para este propósito se recomienda pendientes de 1 en la vertical y 3 6 4 en la horizontal. En este caso las olas que resultan de la fricción del viento reventarán en el talud aligerándose, pero ello no significa que no dañe el talud.

En caso de pendientes más pronunciadas el revestimiento puede hacerse obligatorio. Aparentemente, el revestimiento de piedra es lo más recomendable para

el talud, siempre y cuando el material rocoso se pueda adquirir a bajo costo, colocándose una parte por encima y otra por debajo del nivel del agua las piedras de diferentes tamaños y formas se acomodan manualmente sin unirlas con argamasa. El empedrado es un medio efectivo contra la erosión y la maleza.

El área empedrada deberá tener 0.15 m de espesor y su altura ser mayor a la prevista para las olas. El ancho mínimo recomendable es de 1 m, siendo 0.5 m por encima y 0.5 m por debajo del nivel de las aguas cuando están tranquilas.

Es probable que el empedrado acumule grasa y otros materiales flotantes. Por este motivo algunas personas se inclinan a usar losas de concreto o un revestimiento de ladrillo, a pesar de ser más costosos, a fin de lograr una superficie más plana.

3.3 LA CONSTRUCCION DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION.

En este punto se hará mención de la construcción de lagunas de estabilización, de acuerdo a lo establecido por las normas nacionales

Tratamiento preliminar

El pretratamiento del agua cruda no es indispensable para este tipo de sistemas. Sin embargo, es deseable contar por lo menos con mecanismos para remover sólidos flotantes grandes y arenas.

Rejillas

En general, las rejillas son dispositivos formados por barras metálicas paralelas del mismo espesor e igual espaciamiento. Sirven para:

- Proteger las bombas, registros, tuberías, piezas especiales, etc., de taponamiento y abrasión;
- Evitar la acumulación de basura en las lagunas.

El espacio útil entre barras es función del tipo de material que se emplea y proteger. La tabla 3.5 muestra las aberturas más empleados y su aplicabilidad.

Tabla 3.5 Tamaño de la abertura de las rejas según su uso.

Abertura (mm)	Uso
51 a 153	Protección de las bombas de agua

	residual y del desarenador.
19 a 51	Protección del proceso

Para el dimensionamiento de las rejillas se debe escoger además del espaciamiento la forma, tamaño y tipo de barras. También, se debe considerar la sección de aproximación para obtener velocidades del agua que no permitan el paso del material retenido, o bien, que no formen depósitos de arena en el fondo del canal. Las velocidades recomendadas a través de las barras limpias son:

velocidad mínima. *0.30 mis*

velocidad máxima: *1.00 mis*

Los valores deben cumplirse para los gastos mínimo y máximo.

Una vez especificados, la sección transversal y el espaciamiento de las barras, las rejillas se calculan con el largo del canal a la altura de la lámina del agua establecida por el nivel de las unidades subsecuentes y por la pérdida de carga. Asimismo, se establece que el área del canal, A_s , sea la misma que las áreas ocupadas por las barras más el área útil de los espaciamientos. El área transversal se calcula mediante

$$A_s = Au + \frac{a+e}{a}$$

donde

A_s : área del canal, m^2

A_u : área entre barras, m^2

a : espaciamiento entre barras, m

e : espesor de la barra, m

De acuerdo con la forma de limpieza, manual o mecánica las rejas se clasifican en:

Reja de limpieza manual.- Las rejas sencillas de limpieza manual (FIG. 3.10) están formadas por barras de acero, de sección cilíndrica o rectangular. Estas rejas pueden ser verticales aunque con frecuencia se encuentran inclinadas (con ángulos de 60° a 80° sobre la horizontal) para facilitar su empleo. Este tipo de rejas es el más común para sistemas lagunares pequeños. La limpieza manual de la rejilla es desagradable, y esto es el motivo principal de su mal funcionamiento.

Reja mecánica.- Las rejas mecánicas (FIG. 3.11), por el medio agresivo al que son sometidas, exigen un mantenimiento cuidadoso, siendo consideradas sólo en instalaciones que justifiquen su empleo, como: el alto volumen de tratamiento, la gran cantidad de material que tapone la reja en tiempos cortos y; dinero suficiente para comprarlas y operarlas. Las rejillas con limpieza mecánica se clasifican a su vez por la posición del sistema de limpieza en:

Limpieza frontal, con un ángulo de 80° sobre la horizontal. Las rejas pueden ser curvas o verticales. Las primeras se adaptan perfectamente a instalaciones profundas, pueden tratar de 3 a 1400 L/s. Las segundas pueden tener diferentes dispositivos como el empleo de cadenas sin fin para la remoción final, por lo general tratan de 2.7×10^2 a 11000 L/s.

Limpieza trasera, generalmente vertical y que están equipadas con peines montados sobre cadenas sin fin. Pueden tratar entre 140 y 8.5 L/s con funcionamiento discontinuo ya que el dispositivo de limpieza actúa por medio de indicadores pérdida de presión.

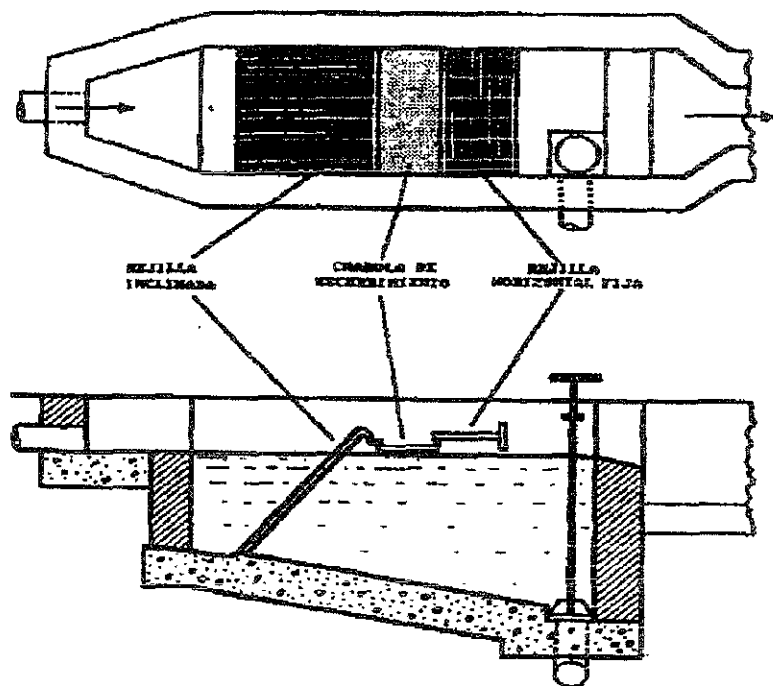


Fig. 3.10 Rejas de limpieza manual.

La cantidad de material retenido por las rejillas varía entre 0.010 a 0.25 L/m^3 , de acuerdo con las condiciones locales, hábitos de la población, época del año y, sobretodo, de la abertura de las rejillas. La tabla 3.6 presenta la variación de la cantidad de material retenido en relación con la de las rejillas.

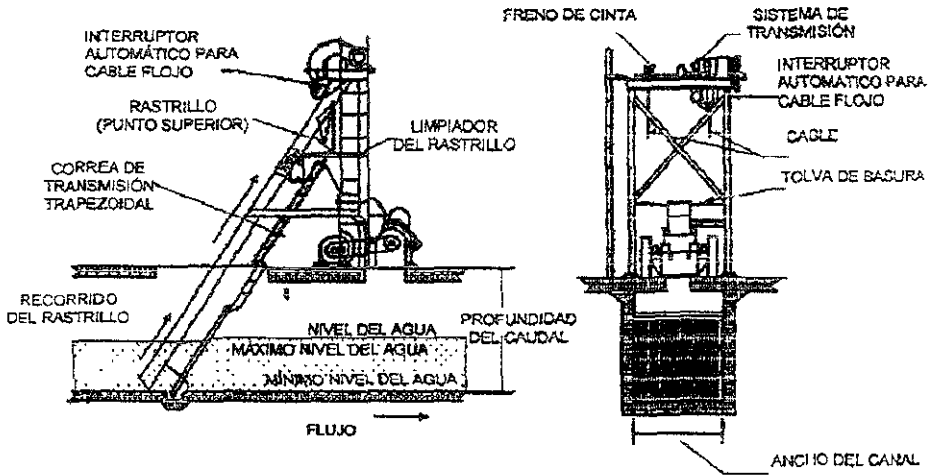


Fig. 3.11 Rejilla de limpieza mecánica (vista posterior y transversal).

Tabla 3.6 Variación de la cantidad de material retenido en función de la abertura.

Abertura de la reja, cm	Material retenido, L/m ³
2.0	0.038
2.5	0.023
3.5	0.012
4.0	0.009

El material retenido está constituido principalmente de papel, trapos, desechos de cocina y material introducido a la red a través de pozos de visita. Su composición física es del orden de 70 a 90% de agua, pesando 0.70 a 1.0 kg/L.

En pequeñas instalaciones donde la limpieza es manual, se recurre al hacinamiento e incineración del material retenido. En instalaciones mayores, donde

el material es retirado mecánicamente se incinera, digiere, tritura o es manejado como residuo no peligroso en el sistema local de disposición de sólidos.

Desarenadores

Los desarenadores son tanques que evitan la decantación de arena en las lagunas primarias cerca de la entrada. Protegen al equipo mecánico de la abrasión y el desgaste; reduce la obstrucción de los conductos causada por la deposición de partículas en las tuberías o canales, generalmente en los cambios de dirección; y, reducen la acumulación de material inerte en los estanques, lo que da lugar a pérdidas en el volumen. Cuando los sistemas son grandes (>110 L/s) o cuando el agua residual contienen una gran cantidad de arena, los desarenadores son siempre requeridos.

El material retenido en los desarenadores se caracteriza por ser teóricamente inorgánico y tener una velocidad de sedimentación mayor que la correspondiente a la materia orgánica biodegradable. Los materiales que caen en esta categoría son partículas de arena, grava, de minerales, y orgánicos no putrescibles fácilmente, como semillas. En general, retienen los materiales en suspensión cuya granulometría sea mayor de 0.2 mm, o bien, materiales específicos y orgánicos fácilmente decantables.

Como la principal consideración que se debe tener es la protección del equipo, es deseable instalar los desarenadores antes de las bombas de agua residual. Pero, en muchas ocasiones el sistema de alcantarillado es tan profundo que situar el desarenador antes del bombeo no es posible. La instalación conjunta de las rejillas y los desarenadores facilita la eliminación de arena y su limpieza. Las ventajas y desventajas de instalar los desarenadores en diferentes lugares dentro de la tratamiento se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Diferentes sitios para la instalación de desarenadores

Localización	Ventajas	Desventajas
Antes de la estación de bombeo.	Máxima protección para el equipo de bombeo.	Cuando se tiene una gran profundidad, los costos de construcción son muy elevados; el acceso es difícil y la remoción de arena no es buena.
Después de la estación de bombeo	Accesible y fácil de operar	Algunas bombas sufren mayores desgastes

La elección del tipo de desarenador se hace con base en la pérdida de carga, requerimientos de espacio, topografía, tipo de equipo utilizado en la planta y consideraciones económicas. En general, estas unidades se dividen en tres tipos:

- controladores de velocidad,
- aerados, y
- sedimentadores de nivel constante.

Los más empleados para lagunas de estabilización son los primeros con mantenimiento manual, por lo que se mencionarán sus principales características a continuación.

Desarenadores con control de velocidad

Estos desarenadores tienen como base la sedimentación diferencial, la cual es un mecanismo seguro para separar la materia orgánica (que sedimenta como flóculos) de la arena. Esta última tiene una gravedad específica entre 1.5 a 2.7, mientras que la de la materia orgánica es de 1.02.

Los desarenadores con control de velocidad son tanques de sedimentación largos y estrechos. En ocasiones, se emplean varios y se puede lograr un arreglo económico y eficiente usando secciones de control a la entrada y salida del canal. Las secciones de control incluyen vertedores proporcionales (Sutro, canales Parshall, canal parabólico, etc).

La velocidad horizontal en desarenadores es de 0.3 m/s y el tiempo de retención de 60 s. Cuando el peso específico de la arena debido a las condiciones locales sea inferior a 2.65 deberán considerarse velocidades inferiores. De hecho, el diseño de este tipo de desarenador debe contemplar que, bajo las condiciones más adversas, la partícula más ligera de arena alcance el fondo antes de su salida. La pérdida de carga a través de un desarenador con control de velocidad es del 30 al 40% de la profundidad máxima del canal.

La longitud del canal es función de la velocidad de sedimentación y la sección de control. Es recomendable considerar una longitud adicional debido a la turbulencia que se genera a la entrada y salida de los vertedores; comúnmente, se considera del doble de la profundidad del flujo hasta un máximo del 50% de la longitud teórica. En cuanto al área de la sección transversal ésta función del caudal y número de canales.

El método más sencillo para la remoción de arena en una cámara de limpieza manual es el traspaleo y el transporte en carretillas, pero cuando se tienen flujos mayores de 40 L/s se recomienda la limpieza mecánica. Los equipos mecánicos para la extracción de la arena sedimentada son:

Transportador de cangilones o rascadores (plantas pequeñas) y elevadores de cadena continua con cangilones o transportador de tornillo helicoidal (plantas grandes, (fig. 3.12).

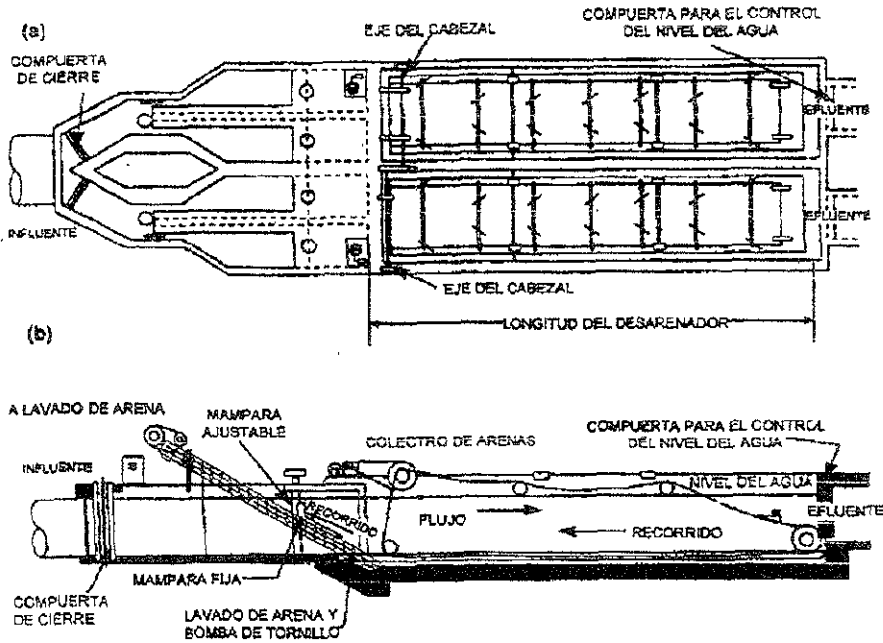


Fig. 3.12 Desarenador de doble canal con depósito.

La arena eliminada por los desarenadores puede estar libre de materia orgánica o tener un alto porcentaje de ella. El método para la disposición final debe tomar en cuenta no sólo el contenido de arena sino también el de materia orgánica, especialmente la fracción que es fácilmente putrescible. La arena sin lavado contiene 50% o más de material orgánico, mientras que la lavada tiene un máximo del 3% de orgánicos putrescibles.

La cantidad de arena varía de 5 a 200 $m^3/10^6 m^3$ con un valor típico de 30 $m^3/10^6 m^3$, dependiendo de:

- drenaje ,
- condiciones climáticas,
- tipo de suelo, condición y calidad de las alcantarillas,
- aportaciones de agua residual industrial,
- uso de trituradores, y
- proximidad con bancos de arena.

Debido a que la arena es estable no causa problemas al disponerse en el suelo.

Medidores de flujo.

En cualquier sistema de tratamiento es muy importante conocer el flujo que entra. En las lagunas, los dispositivos más empleados son los vertedores y los canales Parshall que se requieren equipo electromecánico, son de fácil mantenimiento y operación.

Vertedores

Tienen la ventaja de que su capacidad hidráulica se puede variar cambiando las placas de mismos. Si ha habido una disminución del caudal se puede lograr mayor precisión cambiando un vertedor triangular de 90° por uno de 45° . Si por el contrario se tiene un aumento del caudal, puede pasar a un vertedor rectangular o a una compuerta con descarga de fondo (Fig. 3.13).

PLANTA BAJA

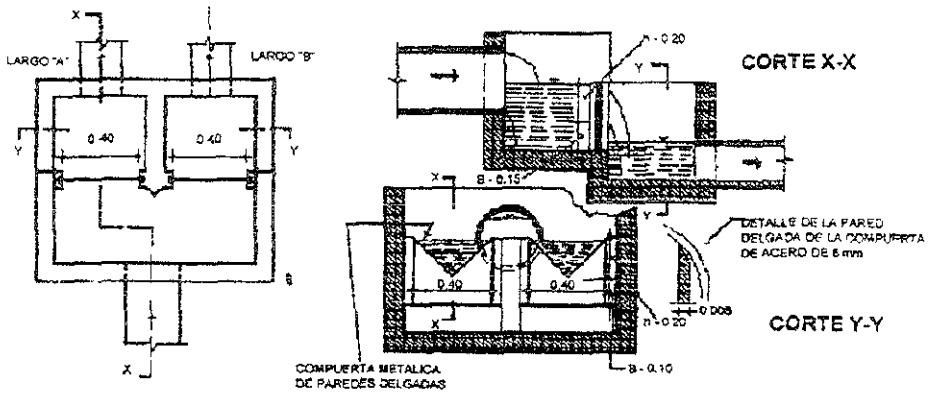


Fig. 3 13 Vista vertedero.

Canal Parshall

Tiene una sección contraída (Fig. 3.14) en la cual se lleva a cabo la medición del flujo al mantener cierto nivel en dicha zona, además presenta pérdidas de carga más bajas comparados con los vertedores.

Los canales pueden adquirirse directamente fabricados en fibra de vidrio u otros materiales, y se suministran con las curvas de medición incorporadas. La profundidad del agua se mide por lectura directa, con un flotador situado en una arqueta lateral, o por medio de un detector electrónico de nivel

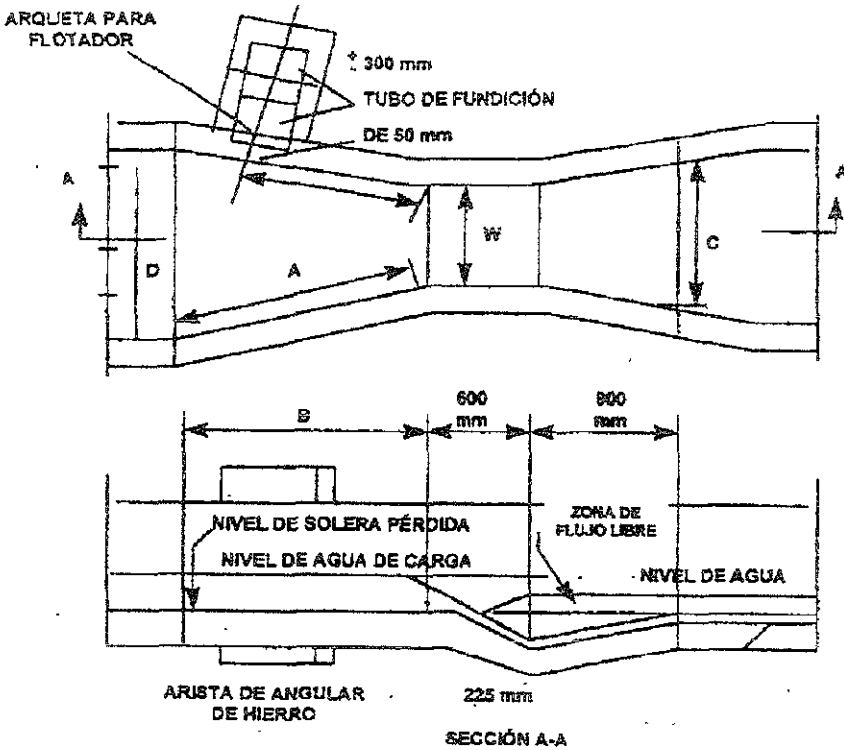


Fig. 3.14 Canal Parshall.

Construcción de las lagunas de estabilización.

Las lagunas se construyen generalmente por excavación del terreno natural, formando un bordo perimetral con el fin de encerrar el área de tratamiento, evitar la aportación de escurrimientos superficiales y, en ocasiones, aumentar la capacidad de almacenamiento (fig. 3.15). Con frecuencia, se sobreexcava a mayor profundidad que la requerida por el proyecto ya que los depósitos naturales de suelo normalmente no tienen las características adecuadas para un desplante directo, y se debe sustituir el material sobreexcavado por uno de relleno seleccionado y bien compactado.

Identificación del Sitio

La selección del sitio para la construcción de una laguna debe tomar en cuenta los siguientes factores:

- La capacidad de tratamiento y de almacenamiento requerida.
- La necesidades de elevación (presión).
- La disponibilidad y costo del terreno.

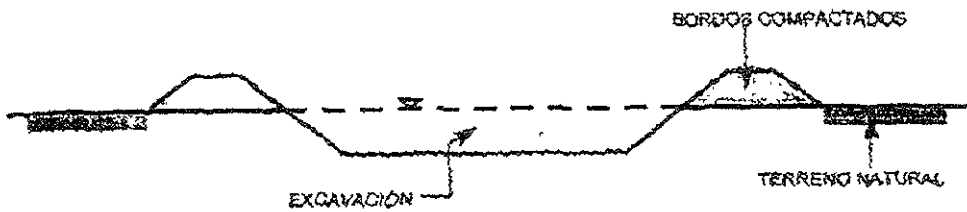


Fig. 3.15 Laguna construida por excavación (sección transversal).

Un factor que incide en la ubicación de las lagunas es la disponibilidad de terreno. En este punto se debe de considerar los costos del terreno y su di esta disponible para su venta a estos requerimientos deben combinarse con las propiedades del sitio, es decir:

- Información geotécnica preliminar
- Topografía y mecánica de suelos
- Estudios de impacto ambiental

De estos puntos, la topografía y la mecánica de suelos de la región, esto último ya fue tocado en el punto anterior, son los factores más importantes: ya que,

por lo común, el sitio debe ubicarse "cerca" de la población que genera las aguas residuales pero lejos de zonas habitacionales y procurar que la descarga llegue por gravedad. Se recomienda, siempre que sea posible, que los sistemas lagunares se localicen a más de 500 m de las áreas residenciales y si se contemplan lagunas anaerobias, la distancia debe incrementarse a 1 km. Una precaución que puede tomarse en cuenta cuando las zonas poblacionales se encuentran cerca del sistema de tratamiento es colocar la laguna anaerobia al centro del mismo, para disminuir los efectos de olores, aunque no abate los problemas de insectos (Arthur, 1990). También, para minimizar las molestias causadas por la generación de malos olores se coloca una mampara de desvío opuesta a la dirección del viento (sotavento).

Impermeabilización del fondo

Para evitar la contaminación de acuíferos lo principal para una laguna es que el agua no se infiltre al subsuelo. Para ello es necesario seleccionar el sitio buscando que tenga suelo impermeable, de preferencia arcilloso, evitar áreas con fallas geológicas y lechos de no los riesgos de infiltración. En caso de no ser así, deberá procederse a impermeabilizar el que puede representar el costo máximo de la construcción.

Las técnicas para impermeabilización son tres:

- suelos naturales y compactados;
- suelos locales mejorados con estabilizantes químicos o con la adición de s-
importados.
- revestimientos sintéticos (geomembranas o liners).

Revestimientos con suelos compactados.

Mediante los análisis realizados en los estudios de mecánica de suelos se conoce el tipo de suelo y el grado y método de compactación que se utilizará. Los mejores suelos son las arcillas del tipo monmorilonítico (naturales) o bentónico (artificiales), debido a su composición química. El coeficiente de permeabilidad para arcillas no alteradas (impermeabilizadas) varía de 10^{-9} a 10^{-7} cm/s. Los silicoaluminatos de sodio son inestables en presencia de radicales oxhidrilos (OH) del agua con los que reaccionan fácilmente soltando el sodio Na^+ y tomando el OH. Esto hace que se "hinchén" de agua y sellen las fugas que pudieran existir, o bien, que reduzcan en gran medida la permeabilidad del suelo local. Su problema radica en que son difíciles de manejar en estado puro así como de acomodar y de compactar, requiriendo siempre espesores importantes de aproximadamente 50 cm por capa

Algunos limos plásticos también son usados con el fin de lograr impermeabilizaciones aunque su permeabilidad es mayor que la de las arcillas (del orden de 10^{-8} cm/s). Los limos tienen la ventaja de ser fácilmente compactables y no se agrietan con la facilidad que lo hacen las arcillas, sobre todo al ser sometidas a cambios en su contenido de humedad (Morales y Monroy en IMTA, 1995).

La impermeabilización de una laguna con suelo compactado y fino es una técnica delicada que requiere un buen conocimiento de las propiedades de los suelos y un riguroso control de calidad. El revestimiento debe combinar varias propiedades: baja permeabilidad, estabilidad a los gradientes fuertes a los que se encuentra sometido y resistencia a la erosión. Si además la laguna debe vaciarse periódicamente, el material deberá presentar una gran estabilidad volumétrica para evitar el agrietamiento por secado o, en su defecto, deberá protegerse adecuadamente.

Para suelos compactados, la permeabilidad varía considerablemente con el contenido de agua y el método de compactación. Lo anterior se debe a que, cuando el material se compacta en el lado seco respecto al óptimo Proctor*, las partículas de arcilla forman flóculos o grumos que oponen una alta resistencia al rearrreglo durante la compactación y dan lugar a una estructura con una alta proporción de poros grandes. Para contenidos de agua altos, los grumos se debilitan y los poros grandes tienden a desaparecer. Por tanto, para reducir eficientemente la permeabilidad, es más importante dar al suelo una estructura adecuada que tratar de disminuir su porosidad. Sin embargo, la tasa de percolación puede ser reducida a través de la sustitución del material poroso por una cama de arcilla homogénea bien compactada. El método de compactación también interviene siendo mejor el amasado que el estático.

Material.

Para la impermeabilización natural se puede afirmar que existen dos opciones: emplear un material fino plástico poco permeable y protegerlo con otro contra la erosión y el secado o elegir un material natural (o una mezcla) que combine, en la medida de lo posible todas las propiedades deseables. Para la primera opción, debe verificarse que se cuenta con un banco de material arcilloso adecuado. Las arcillas de baja compresibilidad presentan la ventaja de ser más estables volumétricamente y más manejables que las de alta compresibilidad.

Si se opta por la segunda opción, los materiales más adecuados son las gravas con- arenoarcillosa o, en su defecto, las gravas arcillosas. El Contenido de arcilla debe de ser suficientemente alto y uniforme para que si se presenta segregación local

* Prueba Proctor Esta prueba consiste en compactar el suelo en cuestión de tres en tres capas, dentro de un molde de dimensiones y forma específicas, por medio de golpes con un pistón, determinado que se deja caer

el Porcentaje no llegue a ser en ningún punto inferior a 15 %.

El espesor del revestimiento debe ser suficiente para garantizar la continuidad del mismo y evitar que se encuentre sometido a un gradiente hidráulico excesivo. No es recomendable un espesor inferior a 30 cm ni un gradiente superior a 10.

Preparación del material

Es conveniente compactar el material seleccionado con un alto contenido de agua para reducir la permeabilidad. Si se quiere bajar la permeabilidad al mínimo, el contenido de agua requerido puede ser hasta de 5 o 6% superior a óptimo Proctor. Para evitar que existan zonas locales más permeables en el revestimiento es necesario que los materiales de los bancos de préstamo sean preparados previamente a la colocación. La preparación consiste en darles el contenido de agua adecuado, homogenizarlos por mezclado y dejarlos para que el contenido de agua se uniformice por difusión. Este tiempo debe fijarse para cada material mediante muestreos de control. Un orden de tres á seis días resulta generalmente suficiente

La Colocación.

Si se pretende lograr la mínima permeabilidad, los equipos tradicionales de compactación como los rodillos "pata de cabra" o neumáticos pueden resultar inadecuados al atascarse debido al contenido de agua del material. Teniendo en cuenta que no se busca un alto grado compactación sino dar al suelo una estructura adecuada, puede ser preferible recurrir a un equipo ligero para formar una capa de suelo remoldeado de espesor uniforme. Es conveniente que el revestimiento se construya por capas de no más de 20 cm de espesor cada una.

Antes de la colocación, es necesario abundantemente el terreno natural para evitar que absorba el agua del suelo compactado. Debe ponerse énfasis en la verificación del porcentaje de finos, contenido de agua y plasticidad de los mismos así como del espesor de la capa.

La protección de los revestimientos de suelos finos a base de material granular, suelo-cemento o concreto asfáltico, debe instalarse lo más rápido posible. Durante el lapso que separa colocación del revestimiento de la instalación de la protección, el contenido de agua del suelo debe mantenerse constante por riego.

En especial para arcillas el material de protección puede ser una grava-arena, de preferencia bien graduada, con tamaños suficientes para resistir en su caso el arrastre de las corrientes que pueden existir dentro de las lagunas, en particular cerca de la descarga y de la zona de bombeo. El suelo compactado puede también protegerse con una capa de suelo-cemento o de concreto asfáltico

Se ha observado que el sellado natural de una laguna puede ocurrir por alguno de los mecanismos siguientes:

- Taponamiento físico de los vacíos del suelo por sólidos sedimentados
- Taponamiento químico de los vacíos del suelo por intercambio iónico, y
- Taponamiento biológico y orgánico por crecimiento microbiano en el fondo del estanque.

Varios productos químicos que se mezclan con el suelo han sido usados con grados de éxito muy variables para sellar lagunas. Se ha encontrado que la impermeabilización química puede ser efectiva en suelos con un mínimo de 8% de arcilla y de 10% de limo. Las sales que se usan con más frecuencia para el sellado químico son los polifosfatos de sodio (pirofosfato tetrasódico o tripolifosfato

sódico), el carbonato de sodio y el cloruro de sodio. Debido a la compleja y variable composición química de los suelos, los tratamientos de esta naturaleza solamente deben aplicarse después de un estudio de laboratorio que demuestre su efectividad.

Una segunda categoría de productos está constituida por los aditivos que se agregan al agua para reducir las filtraciones. Algunos de estos productos, a base de polímeros, aumentan la atracción iónica de las partículas del suelo hacia el agua, con lo que se incrementa el diámetro efectivo de las mismas y se reducen las dimensiones de los poros. Otros son emulsiones de cera que forman una membrana delgada en el fondo. Estos productos permiten reducir pero no eliminar las filtraciones.

Las arcillas altamente expansivas, tales como la bentonita, pueden reducir efectivamente la permeabilidad del suelo natural al humedécese. La bentonita es una arcilla sódica que exhibe un alto grado de expansividad, permeabilidad y baja estabilidad en presencia de agua. Para revestir lagunas artificiales es posible dejar decantar una suspensión de bentonita en agua o mezclar la bentonita en seco con el suelo natural o con arena, previamente al llenado. También puede aplicarse sobre una cama de grava para sellar los huecos entre partículas o enterrarse bajo una capa protectora de suelo.

Revestimientos sintéticos.

Las membranas sintéticas, también conocidas como geomembranas o *liners*, llegan a proporcionar permeabilidades hasta del orden de 10^{-13} cm/s.

Al usar membranas sintéticas se busca generalmente eliminar totalmente las filtraciones. Así, más que las propiedades en sí del material sintético, la instalación de la membrana es primordial. Ya que un desgarro o defecto local puede conducir a

filtraciones importantes, aun si el terreno subyacente es poco permeable.

Selección del tipo de membrana.

Existen una gran variedad de membranas sintéticas, las que se pueden dividir en los siguientes grandes grupos por su fabricación:

- De plásticos (PVC, PAD y poliamida)
- De elastómeros (butilo, neopreno, etilpropileno terpolímero, etilenopropileno dienomonómero y etileno vinilacetato)
- De bentonita y geotextiles.

El primer requisito para la selección de una geomembrana es su resistencia química. Se debe considerar para agua municipal una vida útil de 20 años. Así, por su resistencia las membranas de PAD (polietileno de alta densidad) son las preferidas.

La selección del tipo de membrana para una obra particular debe tomar en cuenta múltiples factores. En la tabla 3.8 se presenta una lista de los principales criterios de selección en orden decreciente de importancia. Esta lista es descriptiva y debe adaptarse a cada caso en particular.

Las membranas terminadas pueden tener diferentes estructuras. Para evitar los orificios debidos a defectos de fabricación, las membranas gruesas se obtienen frecuentemente superponiendo varias hojas, intercalando entre ellas una o dos telas de refuerzo (fig. 3.16). Este refuerzo aumenta la resistencia a la tensión de la membrana, facilita su manejo y los empalmes. Sin embargo, las razones más importantes para reforzar con tela son las siguientes:

- Estabilidad en el punzonamiento.
- Estabilidad contra el encogimiento.
- Mayor resistencia al desgarre.

Tabla 3.8 Criterios de selección para revestimientos sintéticos

1	Alta resistencia a la tensión, flexibilidad y elongación sin falla.
2	Resistencia a la abrasión., al punzonamiento y a los efectos de agua de Desecho
3	Buena resistencia al intemperismo
4	Inmunidad al ataque de bacterias y hongos.
5	Densidad >1.0
6	Color: negro (para resistir la acción de los rayos ultravioleta)
7	Espesor mínimo: 0.4 mm
8	Composición uniforme y ausencia de defectos físicos
9	Resistencia a variaciones de temperatura y a condiciones ambientales
10	Reparación fácil
11	Económica

Las telas de refuerzo que tienen más aceptación son a base de algodón, yute, poliéster y fibra de vidrio. Aunque el nylon tiene algunos inconvenientes sigue siendo el material más aceptado; su principal atractivo está en su disponibilidad y en su resistencia a soluciones acuosas y organismos del suelo. Como desventajas deben mencionarse su baja resistencia a las soluciones ácidas y a la luz solar y su falta de adherencia a cualquiera de los polímeros.

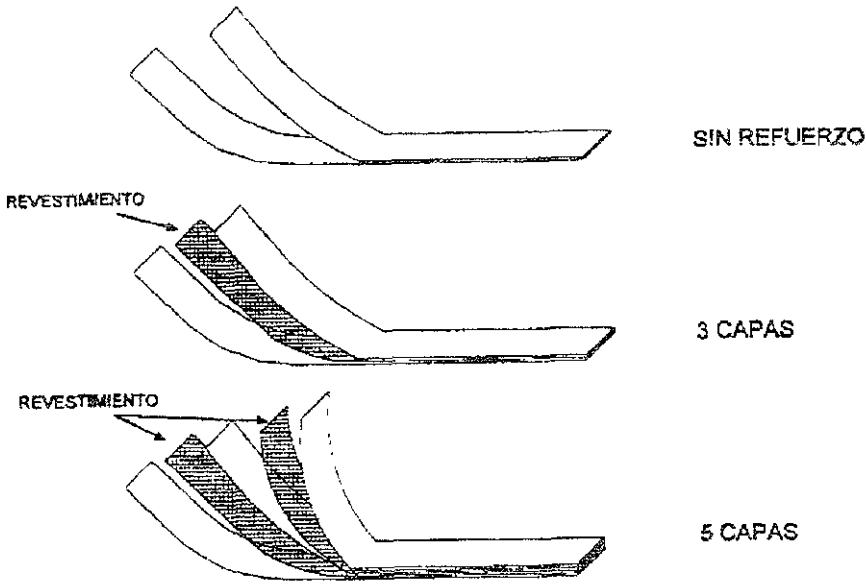


Fig. 3.16 Características de las membranas.

La Instalación de membranas.

Los principales aspectos a ser considerados son:

Preparación del sitio.- Las membranas deben colocarse sobre una superficie tersa ya sea concreto, concreto lanzado, concreto asfáltico o suelo. En este último caso, es necesario remover todas las ramas afiladas, las piedras y el escombros, tanto en el fondo como a los lados de la instalación o recubrirlos con suelo fino (arena fina o limo). De preferencia el área que se va a cubrir debe nivelarse y compactarse con rodillo y plancha para reducir las concentraciones de esfuerzos en la membrana.

Colocación de la membrana.- Las geomembranas se fabrican directamente en planta y transportan, confeccionadas del tamaño requerido. En ocasiones, cuando

abarcan una extensión no pueden ser ensambladas en planta (piezas hasta. de 4,000 m² son factibles fabricarse de una sola pieza) y se transportan al sitio en los tramos más grandes posibles; donde se unen generalmente por termosoldado. Sin embargo, las uniones realizadas en planta son más confiables que las efectuadas en campo donde no existen las condiciones óptimas para hacer este trabajo. Siempre debe buscarse minimizar el número de juntas. Los otros métodos empleados para la unión de juntas en la actualidad son:

- Dieléctrico.
- Térmico
- Con solvente
- Con adhesivos

Una vez realizadas las uniones, éstas deben inspeccionarse cuidadosamente después de transcurrida la primer media hora, con el fin de detectar fisuras o huecos que aparezcan en la junta.

Subdrenaje. - El fluido que puede llegar a acumularse detrás de una membrana impermeable por alguna discontinuidad de la misma, por infiltración del agua de lluvia o de otras fuentes, y puede ocasionar problemas. Una solución a este problema es mediante una doble impermeabilización la cual puede ser costosa y solamente se justifica si el fluido almacenado es contaminante o si se ha detectado un problema geotécnico potencial de importancia. Otra opción más simple, consiste en colocar el revestimiento sobre una capa de concreto asfáltico poroso que canaliza el fluido interceptado hacia un sistema de drenaje. Una alternativa más consiste en usar material granular recubierto como suelo fino compactado en vez de concreto asfáltico

Protección. - Las membranas delgadas son sensibles a la radiación solar, a daños mecánicos o vandalismo por lo que deben recubrirse con una capa de suelo. En los taludes debe colocarse una capa de suelo permeable (grava) contra la erosión. En taludes más pronunciadas puede usarse concreto para fines de protección.

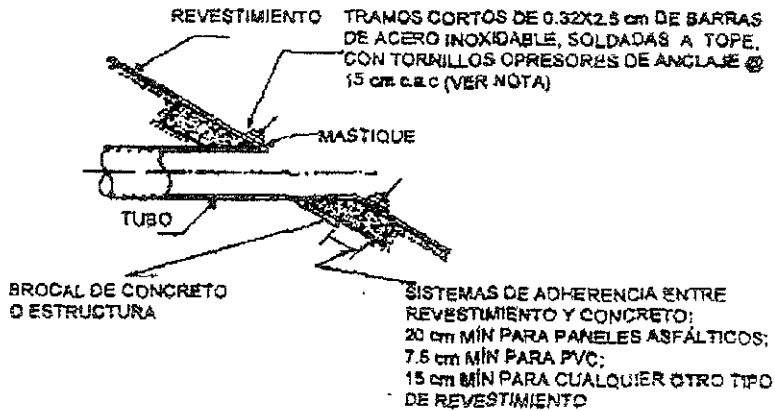
Anclaje. - El anclaje de la membrana en la parte superior del talud puede ser formal o rústico.

Un sistema formal de anclaje consta de pernos de fijación de 12 mm separados de 15 a 30 cm y una barra de anclaje de 63 x 51 mm en sección transversal. Por lo regular, la barra es una aleación de aluminio, aunque también se usa acero galvanizado y acero inoxidable.

El sistema de anclaje rústico se hace excavando una zanja adyacente a la corona del talud de sección transversal en forma de V. La profundidad de la zanja varía entre 30 y 40 cm que es suficiente para soportar cualquiera de los sistemas de revestimiento. Después de colocar la membrana se rellena la zanja con el suelo excavado compactándolo ligeramente.

Sellos.- En las estructuras de toma y de descarga y en otros puntos donde se tenga que atravesar el revestimiento los sellos se consiguen de dos maneras:

La primera consiste en hacer el sellado en el plano del revestimiento (fig. 3.17).

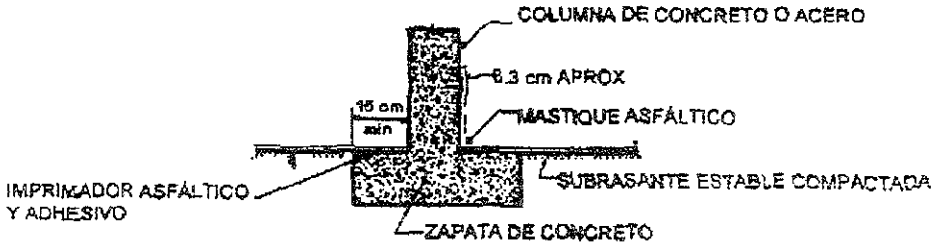


NOTA:

EN LUGAR DEL ANCLAJE MOSTRADO, EN EL CASO DE REVESTIMIENTOS A BASE DE PANELES ASFÁLTICOS SE PUEDEN USAR PERNOS HINCADOS A GOLPES ATRAVESANDO DISCOS METÁLICOS DE 5 cm DE DIAMETRO MÍN. X 0.16 cm DE ESPESOR DE ACERO GALVANIZADO, SEPARADOS @ 15 cm c.a.c Y SELLADOS CON MASTIQUE

Fig. 3.17 Sello en tuberías atravesando taludes.

La segunda, recurre a una funda para tubo (fig. 3.18), a la cual se fija una brida fabricada en planta. En el campo esta brida se adhiere al material base del revestimiento en el punto donde el tubo sobresale del mismo. Los tubos de toma y/o descarga se introducen generalmente en el almacenamiento a través de una pequeña estructura de concreto. El sello entre el revestimiento y la estructura se efectúa en la parte superior del muro de la estructura en el plano del revestimiento. La estructura en sí no se reviste.



NOTA.
NO SE NECESITAN SUJETADORES MECÁNICOS

Fig. 3.18 Sello en columnas de piso para revestimientos a base de columnas y paneles asfálticos.

Fallas - Las lagunas impermeabilizadas son obras vulnerables y sujetas a numerosos mecanismos de falla parcial o total. En la tabla 3.9 se muestran los principales aspectos a considerar en la instalación.

Tabla 3.9 Principales aspectos a considerar en la instalación.

a) PROBLEMAS EN LAS ESTRUCTURAS DE APOYO	b) PROBLEMAS DE OPERACIÓN.	c) PROBLEMAS EN LOS REVESTIMIENTOS.
Subdrenes: Taponamiento, rupturas Sustrato: Compactación Textura Oquedades Asentamientos Huecos y grietas Agua freática Arcillas expansivas Gases Bombeo por oleaje Estabilidad de anclajes	Cavitación Impacto Mantenimiento de limpieza Subpresión Vandalismo	Dificultades mecánicas: Juntas de sellado de campo Bocas de pescado Sellos con la estructura Puenteo de la membrana Porosidad Agujeros Agujeros microscópicos Resistencia al

Capítulo 3.- Construcción y Funcionamiento de las Lagunas de Estabilización

<p>Lodo Obras complementarias</p>		<p>Desgarramiento Resistencia a la tensión Roedores, otros animales Insectos Crecimiento de algas Clima. Intemperismo en general Viento Contaminación por oxidantes Erosión por oleaje Actividad sísmica</p>
---------------------------------------	--	--

Forma y número de las lagunas.

Aun cuando la forma superficial de la *laguna* puede ser cualquiera, lo común es que sea de una geometría simple (rectangular o cuadrada) con las esquinas redondeadas para permitir el uso de maquinaria pesada y facilitar la construcción. Lo ideal es que la relación ancho/largo de la sea lo mayor posible para asegurar que el funcionamiento hidráulico corresponda a un régimen de flujo tipo pistón o "j" reactores en serie, además de evitar los cortos circuitos o las zonas muertas. La forma rectangular con una relación de 2:3 es la más común, debido a la dificultad que existe para construir una *laguna* muy larga. Para imitar el flujo pistón, se usa dividir el área en varias secciones por medio de mamparas (fig.3.19). Las *lagunas* se deben construir con la mayor dimensión paralela a la dirección del viento predominante, de tal forma que se aproveche el mezclado.

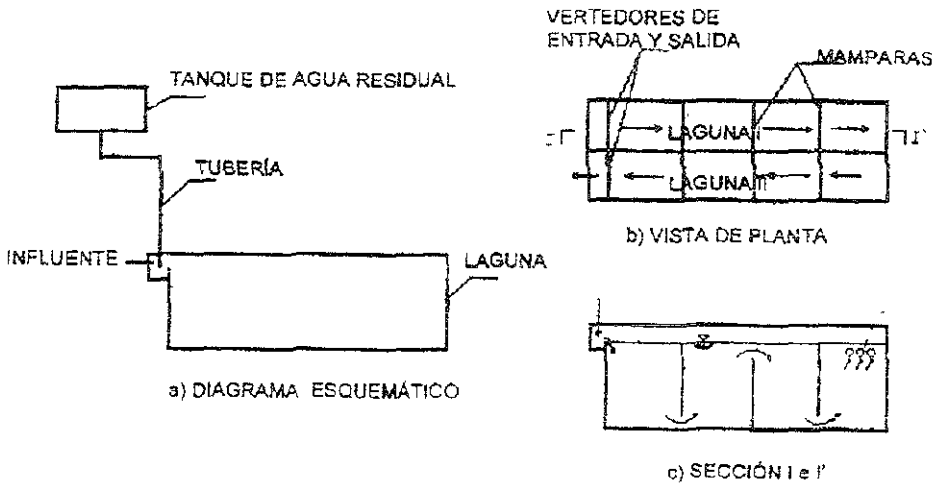


Fig. 3.19 Modelo de laguna de estabilización.

El número de lagunas, éste se puede aumentar de manera que sea más efectiva la depuración y se tenga una aproximación del flujo pistón. En promedio, los sistemas lagunares tienen de 3 a 4 lagunas en serie.

Diseño de bordos.

Uno de los aspectos más relevante para la construcción de las lagunas de estabilización es la formación de bordos que suelen diseñarse con las técnicas para presas pequeñas. Los principales aspectos del diseño son:

- Selección del material
- Estabilización de taludes
- Bordo libre
- Ancho de la corona
- Cimentación
- Filtros y drenes

- Geometría de los bordos
- Protección contra oleaje y erosión

El bordo puede construirse con muy diversos materiales. Si el suelo excavado tiene las características adecuadas, el material extraído puede emplearse, para lo cual el resultado de los análisis de la mecánica de suelos es determinante. Cuando las características del suelo no son las adecuadas se debe usar material de bancos de préstamo. Para bordos sin revestimiento impermeable, los materiales deben seleccionarse tomando en cuenta su clasificación dentro del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Marsh-1 y Reséndiz, 1975). Y su correspondiente susceptibilidad a diferentes procesos que pueden afectar el comportamiento del bordo, en particular la erosión y el agrietamiento. Es conveniente evitar el uso de materiales orgánicos, erosionables o demasiado plásticos.

La corona

La corona de los bordos no debe tener un ancho menor que el requerido para que el equipo de compactación pueda trabajar en buenas condiciones (generalmente más de 3 m). Además, debe ajustarse a las necesidades de tránsito para la operación de las lagunas. El ancho no debe incluir los sobreespesores de material ni la protección contra oleaje. Conviene dar un amplio margen en la selección del ancho para evitar accidentes, durante la construcción.

El asentamiento se estima con las técnicas usuales de mecánica de suelos o mediante relaciones empíricas.

Bordo libre

El bordo libre es la distancia vertical entre el nivel de la corona y el nivel máximo normal del líquido. Con excepción del caso de los vasos reguladores, la

definición del bordo libre no depende de eventuales avenidas máximas puesto que la alimentación de la *laguna* es función de la capacidad hidráulica del sistema de drenaje que sirve, y que se alimentan, en gran número de casos, por bombeo. Por otra parte, las lluvias, en general, solamente pueden provocar una elevación de nivel del orden de algunos centímetros. Se deben tomar en cuenta los conceptos siguientes:

Sobreelevación del agua causada por el viento al actuar sobre el área de almacenamiento.- Depende de la dimensión del área expuesta en dirección del viento hacia el bordo de la profundidad media de la *laguna*. Es conveniente ser conservador en este aspecto y, salvo estudios especiales se debe considerar como la longitud total de la *laguna* en la dirección del viento (fetch). Por lo general, las *lagunas* menores a 2 ha no están expuestas a la acción del viento.

Altura de rodamiento de las olas sobre el talud arriba del nivel de agua de referencia.- Es altura es del orden de la ola máxima (cresta a valle) para bordos con protección pétreo y con taludes de 2 a 3 horizontal por 1 vertical, pero puede alcanzar el doble para superficies lisas, en particular, con revestimientos sintéticos.

Margen de seguridad.- En el caso de *lagunas* artificiales el margen de seguridad puede ser menor que para bordos tradicionales sometidos a avenidas de difícil predicción; sin embargo, debe tomarse en cuenta la profundidad de agrietamiento por secado. En general, un valor del orden de 50 cm es el mínimo margen de seguridad aceptable.

Estabilidad de taludes

La estabilidad de los taludes de los bordos perimetrales no plantea generalmente problemas serios puesto que los terraplenes son de poca altura.

Además, la pendiente de los taludes queda frecuentemente definida por el tipo de cimentación o de revestimiento con el que se recubren más que por consideraciones de estabilidad del bordo. Es conveniente que, en todos los casos, se revise el factor de seguridad de los taludes para las condiciones más críticas previsibles y en particular para la condición de vaciado rápido que podría presentarse en caso de emergencia.

Cimentación

Es importante verificar la posibilidad de falla por deslizamiento a lo largo de una superficie que pase por un estrato de material de baja resistencia de la cimentación. Conviene tomar en cuenta la presencia de un almacenamiento del agua puede reblandecer (por saturación) materiales que en estado seco, presentan una alta resistencia

Filtros y drenes

La incorporación de un filtro dentro del cuerpo del terraplén es una precaución de alto costo, pero que se justifica en casos como:

- Si existe peligro de agrietamiento vertical por asentamientos diferenciales debidos a la compresibilidad y heterogeneidad de la cimentación.
- Si los materiales constitutivos del bordo son erosionables o dispersivos.

En ambos casos, la función del filtro es evitar que el agua infiltrada alcance a salir por el talud seco del bordo y se inicie un proceso de erosión directa o regresiva (tubificación). Los tipos de filtros más comunes son los que se presentan en la fig 3.20, donde el (A) es el más económico y fácil de construir; pero, su eficiencia para abatir la línea superior de flujo depende de la relación entre permeabilidad horizontal y vertical obtenida en el cuerpo del bordo, la que puede ser muy sensible

a defectos en el procedimiento constructivo y, en particular, a una deficiente liga entre capas compactadas.

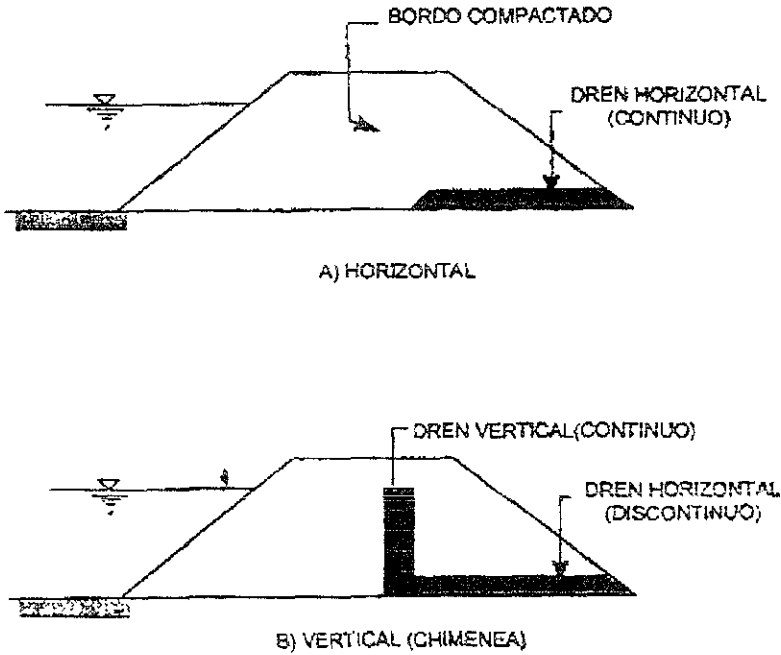


Fig. 3.20 Tipos de filtros usuales en bordos de lagunas de estabilización.

La chimenea vertical B) de la fig. 3.20 presenta mayor probabilidad de un buen comportamiento puesto que interrumpe, necesariamente, el flujo del agua. Se recomienda que para su buen funcionamiento, su ancho debe ser mayor a 60 cm. La chimenea de arena debe combinarse con un sistema de drenaje que conduzca el agua infiltrada hacia el exterior.

Protección.

La protección contra la erosión debe ser considerada en todas las pendientes y dar énfasis a las áreas donde se tiene los vientos dominantes y que, por tanto, reciban además la fuerza del oleaje. La protección debe abarcar por lo menos 0.3 m por debajo del nivel mínimo del agua y 0.3 m por arriba del nivel máximo del agua. Para el control de la erosión es necesario considerar los siguientes factores.

- Minimizar la energía de las ondas.
- Reducir el impacto de las gotas de lluvia en el suelo compactado.
- Incrementar la resistencia a la erosión del suelo compactado.

Las técnicas para controlar la erosión incluyen:

- Cubrir con vegetación, se debe considerar el tipo de plantas, la pendiente del suelo y el espesor de suelo superficial.
- Emplear revestimientos, pueden ser de asfalto, concreto ó membranas sintéticas.
- Usar rompeolas.

La protección con enrocamiento es la más común en el caso de bordos no revestidos. La dimensión de las rocas y el espesor de la protección dependen de la pendiente del talud y de la altura de la ola máxima esperada (fig. 3.21).

Los bordos pueden también protegerse contra la erosión con suelo-cemento. Se usan generalmente suelos arenosos con 10 a 25% de limos en espesores no menores de 60 cm perpendicularmente al talud.

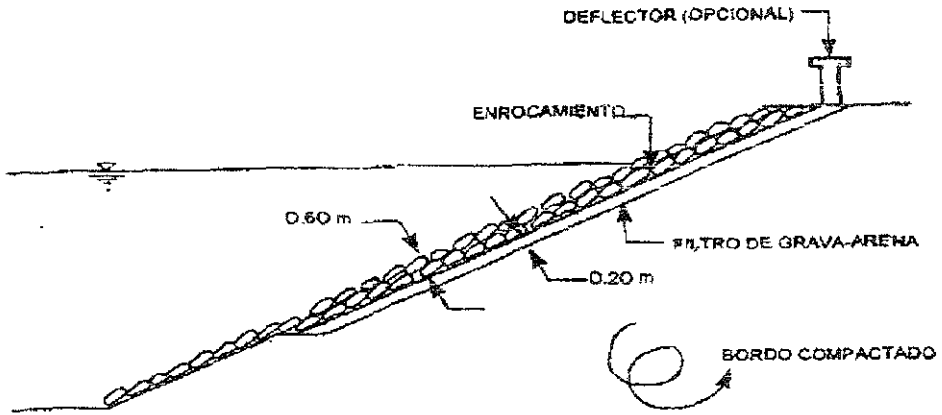


Fig. 3.21 Protección contra oleaje por enrocamiento.

Algunos bordos, recubiertos con una membrana sintética impermeable, se encuentran parcialmente protegidos contra erosión y oleaje. Este último puede llegar a maltratar las membranas delgadas y contribuir a romperlas junto con los agentes ambientales (radiación solar, viento, etc.) y los residuos sólidos flotantes. En general, es conveniente prever en el diseño una protección complementaria a base de material granular (grava o enrocamiento) o concreto.

Geometría de los bordos

Por lo general, las pendientes de los taludes de los bordos se definen en función de la naturaleza del suelo y del tamaño de la instalación. La selección de la pendiente depende del material de bordo y la protección contra la erosión del agua.

Los bordos deben tener una pendiente no mayor de 1 sobre la horizontal y 3 sobre la vertical cuando el suelo es estable y pueden ser altamente compactados para evitar fallas.

Obras de detalle

En general las lagunas cuentan con diversas obras auxiliares que garantizan su adecuado funcionamiento, como: obras de entrada, interconexiones hidráulicas, obras de salida, aliviadero general (by-pass) y, en ocasiones, cárcamos de bombeo, vivienda del operador, sistema de agua potable y en su caso un laboratorio.

Estructura de entrada

La mayoría de las lagunas son construidas con una sola entrada, localizada cerca del centro del tanque. A pesar de ello, se ha demostrado que los arreglos con múltiples entradas permiten alcanzar una mejor distribución hidráulica y, por tanto, una mejor operación. Sobretudo en las lagunas facultativas; ya que distribuyen los sólidos sedimentables sobre un área mayor (fig. 3.22). Para aumentar la flexibilidad, las entradas pueden ser móviles.

Para la alimentación es conveniente construir una pequeña estructura cuya función es impedir la erosión de los bordos o del fondo de la laguna bajo el efecto del chorro de la descarga. Esta estructura puede ser desde una simple protección local, de enrocamiento o concreto, hasta un cárcamo con vertedor que permita mantener constante el nivel de descarga y con ello sea posible que las bombas trabajen en condiciones constantes de carga hidráulica.

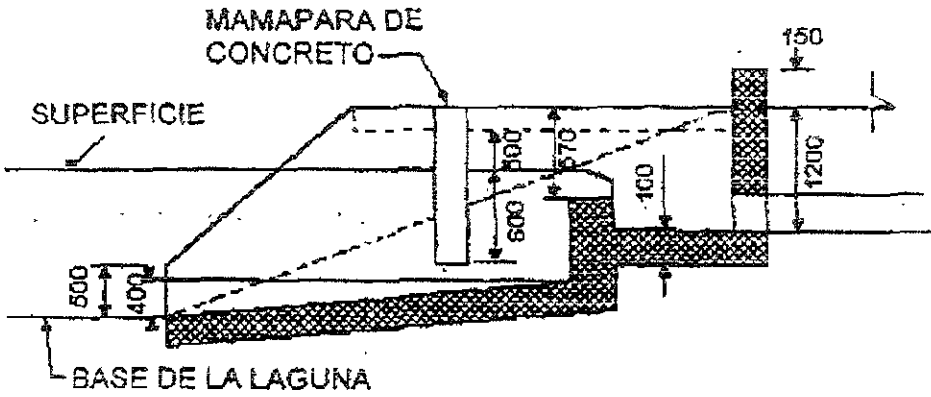


Fig. 3.23 Estructura de salida.

Obra de purga.

Las lagunas de cierta importancia deben contar con una obra de vaciado que permita purgarlas para su mantenimiento y/o para evacuar rápidamente el fluido almacenado en condiciones controladas en caso de falla de un bordo o de otro tipo de emergencia. El gasto que debe poder pasar por esta obra es el máximo compatible con la capacidad de absorción del sistema hacia el cual se descarga el fluido (drenaje, río, etc.). Deben analizarse con cuidado las consecuencias que tendría un vaciado de emergencia, en particular el impacto humano y ecológico (inundación, contaminación, etc.).

Las estructuras de sobreflujo se comparan con los aliviaderos de las alcantarillas. Se debe mantener el nivel de operación seleccionado para la laguna empleando válvulas para tuberías u otros dispositivos ajustables de flujo. Las líneas de sobreflujo pueden ser venteadas con el objeto de prevenir el sifoneo.

Interconexiones

El emplazamiento y el tamaño de las estructuras de entrada y salida de una laguna a otra (o en una misma) pueden afectar el régimen de flujo del sistema. Las estructuras de entrada y salida deben construirse de manera tal que en las líneas de transferencia se minimicen las pérdidas de carga y se asegure una distribución uniforme a lo largo del área total de la laguna.

Las tuberías pueden ser varias y lo bastante amplias para limitar las pérdidas de carga a valores cercanos de 7 a 10 cm para tuberías con recirculación.

Para operar con un menor número de tuberías, se debe tener un nivel de agua que no obstruya el paso del agua de los canales a la laguna, lo que se controla instalando un removedor de natas en la laguna. Si la primera celda se diseña con un removedor de natas, entonces las líneas de transferencia pueden ir sumergidas (fig. 3.24)

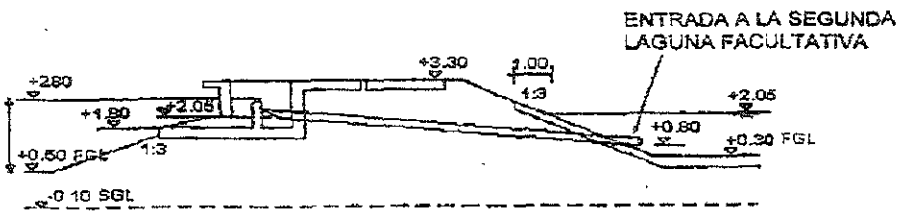


Fig. 3.24 Conexión interlagunar.

Mamparas.

Kilani y Ogunrombi (1984) reportaron que las lagunas de estabilización con mamparas instaladas tienen mejores eficiencias de tratamiento que aquellas que no las tienen. Estos autores, junto con las experiencias de Polprasert y Agarwalla, (1994), indican que el mejoramiento se debe principalmente a la reducción de la dispersión y a que se favorece el crecimiento de una biopelícula que junto con la biomasa suspendida contribuye a la degradación de la materia orgánica. En general, dado que las lagunas de estabilización tienen bajas velocidades de flujo y están sujetas a altas tasas de carga orgánica el crecimiento de la biopelícula se tiene en el fondo y las paredes del tanque.

Vivienda del operador

Se recomienda que el operador habite junto a la laguna a fin de que tome interés en la buena marcha de las instalaciones y vele porque no se produzcan inundicias. En este caso el operador realizará el trabajo relacionado con la operación y el mantenimiento de una laguna de mediano tamaño. Otras de sus actividades aparte de la operación de la laguna, como desobstruir alcantarillas y ayudar al personal de mantenimiento del sistema.

Suministro de agua

Se deberá instalar algún medio de abastecimiento de agua en el sitio de la laguna, especialmente si hay una vivienda para el operador. De cualquier modo, el operador necesita cubrir cuando menos sus necesidades elementales de agua tales como limpieza personal y aseo, así como lavar sus herramientas con agua limpia. La mejor solución es conectar la instalación de agua al servicio público, pero si esto no es posible por razones económicas o técnicas, se podrá proveer un suministro local similar a los que se utilizan en granjas alejadas, obteniendo agua subterránea.

Instalación eléctrica

Si se va a instalar una estación de bombeo o una vivienda para el operador, deberá suministrarse energía eléctrica. Generalmente esto se consigue a través de un cable eléctrico pero, en caso contrario, se puede instalar un generador diesel.

La energía eléctrica se usa, entonces, para hacer funcionar las bombas y los artefactos domésticos. En este caso es aconsejable iluminar lugares tales como construcciones, veredas, puntos de muestreo y medición de caudal, entradas y salidas, cercas, rejas, etc. Esto contribuye a la seguridad.

Si no se cuenta con una estación bombeo o vivienda para el operador, la energía eléctrica es de poca utilidad, aún si se instala un pequeño laboratorio.

Laboratorio

Si es factible económicamente es recomendable la instalación de un laboratorio donde se puedan realizar pruebas y determinaciones necesarias para evaluar el correcto funcionamiento de las lagunas de estabilización

El laboratorio de la laguna debe limitarse a cumplir pruebas rudimentarias. Más aún, las instalaciones para la recolección y preservación de muestras pueden incluirse si las pruebas se van a hacer en el laboratorio principal.

Servicios de emergencia: teléfono, alarmas, primeros auxilios.

Pueden suscitarse accidentes en el lugar de la laguna. Los operadores, visitas y extraños están sujetos a contingencias, pudiendo resultar heridos, caerse a la

laguna y necesitar ayuda. A fin de reducir al mínimo las consecuencias de estos hechos, es recomendable tener a la mano ciertos artefactos de emergencia, ya que generalmente las lagunas están distantes de las áreas urbanas de las cuales se puede obtener ayuda. El teléfono es un medio relativamente barato y sumamente efectivo para lograr el tipo adecuado de ayuda.

Una alarma, como por ejemplo una sirena, puede utilizarse para atraer la atención de personas que se encuentran cerca cuando el operador se halla solo, mal herido y sus movimientos están obstaculizados, laboratorio o si está socorriendo a un herido o ahogado y no puede dejarlo solo.

Tanto los chalecos salvavidas como los botiquines de primeros auxilios deben hallarse accesibles para casos menos severos.

Otros servicios

Otros servicios podrían ser: veredas, caminos, estacionamientos, servicios higiénicos, armario para implementos y herramientas, etc. Las áreas desocupadas pueden cubrirse con césped.

3.4 EL FUNCIONAMIENTO.

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 período de tiempo cuya longitud 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 que habite actualmente en el lugar, se debe poner en marcha únicamente una parte de la misma. Generalmente el proyecto establece las lagunas que han de intervenir en la depuración 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 hierbas en el fondo. En cualquier caso, debe eliminarse toda la vegetación del fondo y taludes antes de comenzar el llenado.
3. La construcción de las lagunas debe planificarse de forma que su acabado 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 período más largo de tiempo.

A continuación se muestran ejemplos de los procedimientos para la puesta en marcha de los diferentes tipos de lagunas.

Lagunas anaerobias

Las lagunas anaerobias deben llenarse y comenzar a utilizarse en continuo desde el principio, respetando el intervalo de tiempo de residencia establecido por el proyectista. Por tanto, la puesta en marcha consistirá simplemente en el llenado de

los distintos módulos, y una vez completado éste, comenzar a alimentar el efluente a la etapa siguiente.

Durante el llenado de las lagunas anaerobias y los meses siguientes debe vigilarse la evolución del pH, que debe mantenerse por encima de 7. En caso contrario, la depuración no se está produciendo correctamente. Cuando esto ocurre se pueden tomar las medidas siguientes:

- Introducir una siembra de bacterias metanógenas procedentes de los digestores anaerobios de una depuradora convencional de aguas residuales.
- Corregir el pH del medio utilizando cal.

Lagunas facultativas.

El procedimiento que ha dado mejores resultados en las lagunas de estabilización consiste en llenar las lagunas hasta una altura de aproximadamente un metro y dejar almacenada esta agua durante un periodo 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 lagunas y a comenzar su funcionamiento en 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, el llenado se hace escalonadamente, respetando siempre el período de tiempo necesario para que aparezca la coloración verde intensa en cada una de las lagunas antes de iniciar el tratamiento en continuo.

Lagunas de maduración

Una vez que las lagunas facultativas están operando en continuo, el efluente se introduce en las lagunas de maduración hasta que éstas se llenan, comenzando inmediatamente el funcionamiento en continuo. ecesario rega

Bibliografía cap 3.-

Auvident, Gabriel y Esquivel, Raúl. (1995). Impermeabilización de lagunas Artificiales. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México.

CNA. 1995. Manual de diseño de lagunas de estabilización. Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Subdirección general técnica, gerencia de ingeniería básica y normas técnicas. México.

Hilleboe, E Herman. (1976). Manual de tratamiento de aguas negras. Edit Limusa, México

CEPIS (1995). Seminario Internacional. Lagunas de estabilización. Santiago de Cali, Colombia. 12-14 de julio. Aspectos Generales y Principios Básicos de los Sistemas de Lagunas de Estabilización.

López Ruiz, Rafael Ing. MSP (2000). Apuntes de tratamiento de aguas residuales. Fac de Ingeniería. UNAM, México

IMTA, CNA, TACSA (1994) Manual de operación y mantenimiento de sistemas lagunares. Centro de capacitación. Jiutepec Morelos, México.

CAPITULO 4.- MANTENIMIENTO Y CONTROL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION.

4.1 EL MANTENIMIENTO Y EL CONTROL EN LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION.

Mantenimiento

Se entiende por mantenimiento la conservación en buen estado de las unidades construidas y del equipo colocado para asegurar un funcionamiento continuo en forma eficiente. Existen dos tipos de mantenimiento:

Preventivo. Se realiza para conservar en buen estado las instalaciones y equipo de la planta asegurando su buen funcionamiento y alargando su vida útil. En este caso se establece la ejecución de rutinas de trabajo que se realizan con mayor o menor frecuencia para prevenir desperfectos

Correctivo. Consiste en la reparación inmediata de cualquier daño que sufran los equipos e instalaciones.

El mantenimiento de las *lagunas*, bordos y áreas exteriores requiere un mínimo de equipo: material de construcción, herramienta de albañilería, material de limpieza, ropa de trabajo y equipo de protección para todo el personal. Para el mantenimiento de la superficie de la *laguna*, cuando se tienen grandes extensiones, se requiere una lancha con un pequeño motor fuera de borda y remos. La lancha deberá ser insubmersible.

El mantenimiento de la obra en buenas condiciones debe ser uno de los objetivos fundamentales del operador. Al igual que ocurre con cualquier instalación, si no se cuida diariamente de 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.

Las personas que tengan a cargo la operación, por tanto, debe ser conscientes de que su trabajo es muy importante para la población, y de que son responsables de posibles amenazas a la salud pública que puedan derivarse de un mantenimiento incorrecto de la planta. Lo cual debe estar aunado a una correcta y constante capacitación.

Limpieza del área de pretratamiento

La mayor parte de las lagunas de estabilización cuentan al menos con un sistema de rejas, con el que se eliminan los sólidos de mayor tamaño arrastrados por las aguas residuales. También el pretratamiento consta, en algunos casos, de una cámara de grasas, tamices o desarenador. Cada una de estas unidades requiere cuidados especiales:

Rejas. En el caso más simple, el pretratamiento consta sólo de un sistema de rejas. A medida que los sólidos se van acumulando en las rejas, éstas se van agregando 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 debe encajar 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 debida a la falta de espacio para maniobrar. Si este no fuera el caso y el diseño ha sido tal que es necesario efectuar maniobras difíciles para limpiar las rejas, es conveniente plantear la posibilidad de realizar obras que ayuden a facilitar la limpieza y a 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 tratan o entierran lo antes posible. Ya que, estos sólidos húmedos son un buen criadero de mosquitos y roedores si se dejan acumulados en montones al aire libre.

Así que debe asignarse un área para el enterramiento de estos desechos sólidos. Si esto no estaba previsto en el proyecto original, el operador debe ponerlo en conocimiento de las autoridades competentes para que se habilite esta zona lo antes posible. A veces se decide incorporar estos residuos sólidos al vertedero municipal de basuras. En este caso, hay que suministrar un medio adecuado de transporte para que los sólidos puedan retirarse diariamente de la planta depuradora, evitando siempre su almacenamiento a la intemperie. Esta opción puede resultar preferible, en especial cuando el municipio cuenta con vertederos controlados, ya que de esta forma disminuyen los riesgos de contaminación de aguas subterráneas.

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 seguir escrupulosamente.

El mantenimiento diario es muy adecuado 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 rejillas 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 lo cual ha de desconectarse el equipo. Esto al parecer es trivial, pero 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 deben seguirse puntualmente, como en las rejillas 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 rejillas, los sólidos deben eliminarse al menos una vez al día. Dado que la planta suele tener un sistema de rejillas 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 esos 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

Las arenas y otros materiales pesados se acumulan en el fondo del desarenador, desde donde se van eliminando bien 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 grandemente cuando se cuenta con dos unidades para el desarenado, con lo cual se deja fuera de servicio la que se está limpiando. Aunque en el diseño de los desarenadores se ajusta la velocidad del agua residual de forma que sedimente sólo la materia inorgánica, las fluctuaciones de caudal pueden dar lugar a variaciones de velocidad que resulten en la sedimentación de materia orgánica. Por consiguiente, los sólidos acumulados en los desarenadores tendrán un carácter predominantemente inorgánico, pero con cierto contenido en materia orgánica, que será mayor si no se puede controlar en modo alguno la velocidad del agua residual a su paso por esta unidad de pretratamiento y el caudal tiende a variar mucho durante el día (como ocurre en pequeñas poblaciones).

El contenido en materia orgánica tiene mucha importancia a la hora de eliminar estos sólidos. Si se desea utilizar estas arenas, o acumularlas al aire libre en los alrededores de la planta, es necesario someterlas a un proceso de lavado con agua para eliminar los residuos orgánicos. En caso contrario surgirían inmediatamente riesgos para la salud, con proliferación de insectos, roedores y desarrollo de malos olores.

La operación de lavado puede realizarse simplemente con una manguera a presión, separando la materia orgánica, que debe eliminarse por los mismos métodos utilizados en el caso de los tamices y rejas. Si no interesa recuperar las arenas, la mezcla de materia orgánica e inorgánica producida en los desarenadores debe unirse a los sólidos procedentes de las otras unidades del pretratamiento y enterrarse o llevarse al vertedero municipal

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 en 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.

Por otra parte, las actividades de mantenimiento que se realizan en periodos más largos de tiempo, como pueden ser semanas, meses o años, incluyen la reparación de bombas, compuertas, cercas y señales, pintura de elementos afectados por la corrosión, revisión de la profundidad de los lodos de las lagunas y conservación de los taludes, entre otras.

La tabla 4.1 muestra las principales actividades que se deben desarrollar, de acuerdo con el operador del sistema de tratamiento, para garantizar una operación adecuada obteniendo las máximas remociones posibles.

TABLA 4.1

ACTIVIDADES QUE INTEGRAN EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN SISTEMAS LAGUNARES

Actividades	Diario	Semanal	Mensual	Como sea necesario
Remoción de maleza en bordos y caminos de acceso				X
Reparación de la erosión O asentamientos				X
Reparación de las fugas de los bordos				X
Eliminación de madrigueras				X
Revisión de las condiciones de los caminos de acceso a la planta				X
Reparación y pintura de las señales y cercas				X
Limpieza de rejas y rejillas	C/4 h			
Disposición de basura	X			
Pintura de rejas y rejillas				X
Limpieza de desarenadores		X		
Disposición de la arena				X
Pintura de los canales desarenadores				X
Limpieza de cárcamo de bombeo				X
Pintura de cárcamo de bombeo				X
Operación de la planta de emergencia de energía eléctrica		X		
Verificar con los de diversos niveles operacionales de cárcamo de bombeo con limpieza de flotadores de control de niveles		X		
Verificar que no produzca ruidos extraños	X			
Verificar la temperatura de operación	X			

Capítulo 4.- Mantenimiento y Control de las Lagunas de Estabilización

Seguir la rutina de mantenimiento indicada por el proveedor o Fabricante.				X
Verificar que no produzca ruidos extraños	X			
Verificar el sello de agua y prensa-estopa	X			
Operar las bombas alternadamente (de no existir un alternador automático)		X		
Inspeccionar el cople de la bomba y el motor		X		
Inspeccionar la lubricación de la bomba			3 mes	
Verificar la temperatura de operación de los baleros			3 mes	
Revisar y dar servicio a las bombas			6 mes	
Drenar la bomba para su paro por tiempo prolongado				X
Cabar la bomba antes de ponerla a operar				X
Inspeccionar las estructuras de entrada	X			
Limpiar las estructuras de entrada				X
Verificar el nivel del agua	X			
Corregir el nivel de agua de operación				X
Inspeccionar del color de la laguna	X			
Remover natas y/o espumas				X
Remover lodos superficiales				X
Remover vegetación del fondo				X
Remover vegetación suspendida				X
Controlar insectos, pulgas de agua y rotíferos				X
Inspeccionar las estructuras de interconexión	X			

Capítulo 4.- Mantenimiento y Control de las Lagunas de Estabilización

Limpiar las estructuras de interconexión				X
Inspeccionar las estructuras de salida	X			
Limpiar las estructuras de salida				X
Calcular el gasto del efluente	X			
Calcular el tiempo de retención hidráulica (TRH)				X
Corregir el TRH				X
Calcular la carga orgánica			1	
Sobrecargas				X
Evidencia de cortocircuitos				X
Condiciones anaerobias en lagunas facultativas				X
DBO alta en el efluente				X
Bajo oxígeno disuelto				X

En general, los problemas de mantenimiento pueden ser minimizados durante el diseño asegurando los siguientes puntos:

La entrada debe proporcionar una buena distribución del influente para evitar la sedimentación y acumulación de lodos cerca de la tubería de entrada. Para ello, se emplea un vertedor cerca de la entrada para retener el paso de las arenas. Si no se cuenta con un sistema de pretratamiento es conveniente usar varias tuberías de entrada.

La salida puede localizarse a varias profundidades, o bien, proveer las salidas superficiales con un equipo de vacío.

En especial, las *lagunas* anaerobias pueden estar provistas de una rampa de acceso para la remoción de los lodos. En sistemas de grandes *lagunas* facultativas y

de pulimento (>2 ha) se puede colocar junto con el revestimiento un área de concreto como puerto para mantener una lancha que permita la remoción de natas y de malezas

El control.

Un control adecuado de las lagunas de estabilización consiste en realizar una labor de seguimiento necesaria para conseguir una evaluación adecuada del comportamiento de estas. El control de las lagunas de estabilización es muy importantes por tres razones fundamentales:

- a) Conocer la eficacia de la depuración en distintas épocas del año y en los distintos aspectos relativos a la calidad del efluente para sus posibles usos
- b) Detectar anomalías de funcionamiento y tomar medidas de corrección adecuadas para evitarlas.
- c) Reunir datos representativos de la depuración en las lagunas de estabilización en la zona, que servirán a su vez para mejorar los criterios de diseño y construcción de futuras instalaciones.

Los procesos biológicos se controlan principalmente mediante el tiempo de retención y la temperatura, y para tener una operación ideal, es deseable que los gastos de entrada y salida sea iguales. Aunque diferencias en los gastos no destruyen el sistema, percolación y evaporación excesivas pueden ejercer una influencia muy marcada sobre un sistema de lagunas de estabilización (López, 2000).

El control que se aconseja seguir se basa en la experiencia reunida en lagunas de estabilización que operan en diferentes condiciones climáticas. Para evaluar el comportamiento de las lagunas de estabilización es necesario reunir información precisa relativa a su configuración física y llevar a cabo muestreos periódicos y

determinaciones analíticas que permitan conocer la evolución en la calidad del agua almacenada a lo largo del tratamiento.

Las determinaciones a realizar deben variar ligeramente según cuál sea el destino final del efluente, y adaptarse también a posibles incidencias en las lagunas. Para el control de la laguna de estabilización deben de considerarse los siguientes puntos:

Influyente

En el influente de la planta de tratamiento se deben analizar en forma rutinaria de acuerdo a la tabla 4.2. La periodicidad señalada es la ideal y su aplicación depende de la disponibilidad de la infraestructura para llevarla a cabo.

Para las lagunas de aeración, se recomienda determinar DBO, DQO y coliformes en una muestra directa y otra sedimentada.

TABLA 4.2 FRECUENCIA DE MUESTREO

Parámetro	No. De veces/mes
Transparencia	8
PH	8
Temperatura	8
Conductividad eléctrica	8
Oxígeno disuelto	8
DBO	4
DQO	4
Sólidos suspendidos	4
Grasas y aceites	2
Observaciones microscópicas	2

Capítulo 4.- Mantenimiento y Control de las Lagunas de Estabilización

Nitrógeno amoniacal	1
Nitratos	1
Nitritos	1
Nitrógeno proteico	1
Fosfatos total	1
Ortofosfatos	1
Coliformes fecales	1
Huevos de helmintos	1 vez / año

Fuente: IMTA, CNA y TACSA, 1994

Effluente

El efluente del proceso de tratamiento será aquel que salga de la estructura que permite la sedimentación de los sólidos suspendidos. En función de su calidad y la del influente se define la eficiencia global. Se determinan prácticamente los mismos parámetros y con la misma periodicidad que para el influente.

El parámetro que mejor refleja la variación de las condiciones del proceso de tratamiento es la concentración de oxígeno disuelto, ya que a mayor concentración de materia orgánica corresponde un incremento en la actividad biológica y un mayor consumo de oxígeno

Cuerpo de la laguna

Los principales parámetros que deben ser evaluados en el cuerpo de una laguna de estabilización son la concentración de sólidos suspendidos en el licor mezclado (sólidos suspendidos totales), las condiciones ambientales (pH, temperatura y oxígeno disuelto), la identificación de zonas muertas -bajo oxígeno disuelto- y la posible acumulación de lodos dentro de la laguna de estabilización. En

cada uno de los sitios de muestreo se toman dos alícuotas del contenido, una a 50 cm de la superficie y la segunda a las 2/3 partes de la profundidad del agua. En cada uno de estos sitios se determinarán los parámetros de campo.

Para la determinación de la acumulación de los lodos dentro de la *laguna* es necesario medir en sitios específicos del fondo. No existe una técnica determinada para establecer los sitios de medición; pero es conveniente que se cubra el mayor número posible de puntos y que éstos correspondan principalmente a las zonas que, por la posición de los aeradores, líneas de corriente, la entrada o la salida estén sujetas a las condiciones mínimas de agitación.

En general, en las lagunas aeradas los aeradores se sitúan espaciados de tal forma que sus radios de acción de mezcla se traslapen lo menos posible y en algunos casos, particularmente en *las lagunas* de mezclado parcial, se establezcan zonas muertas para permitir la acumulación de los lodos y su degradación bajo condiciones anaerobias. Estos últimos sitios junto con los de profundidades mayores a los 3 m que permite la acumulación de lodos aún en la zona de influencia directa del sistema de agitación son los recomendados para el muestreo.

En caso de ser factible se sugiere emplear muestreadores de lodos, que consisten esencialmente en un tubo de acrílico transparente con una válvula en el extremo inferior.

Evaluación de la eficiencia

Dado que esencialmente las lagunas de estabilización se utilizan para remover microorganismos patógenos y la demanda bioquímica de oxígeno los principales parámetros de control son el número más probable (NMP) de coliformes fecales y la concentración de DBO, convirtiéndose éstos en análisis rutinarios que

deben realizarse al influente y al agua tratada. Asimismo, es recomendable evaluar la eficiencia de las *lagunas* en función de la remoción de huevos de helmintos, grasas y aceites, nitrógeno y fósforo, parámetros que se evalúan periódicamente. Para identificar si las condiciones ambientales limitan la actividad biológica es necesario medir el pH, temperatura, oxígeno disuelto y concentración de salinidad.

Gasto de entrada

Los factores que afectan la degradabilidad de la materia orgánica y, por lo tanto, la eficiencia de la *laguna* son las condiciones ambientales: temperatura, pH y presencia de sustancias tóxicas. Para fines prácticos, la una opción real para controlar el proceso es el aumento, disminución o interrupción, por un periodo, del gasto de entrada.

Nutrientes

En caso de que se identifique deficiencia de nutrientes (N y/o P) éstos deben ser agregados en forma proporcional para asegurar el buen funcionamiento del sistema biológico. Se debe identificar el contenido de cada elemento en los productos comerciales para agregar las cantidades apropiadas del compuesto, en general los fertilizantes son una buena opción..

4.2 POSIBLES PROBLEMAS Y SOLUCIONES.

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 punto se expondrán los problemas más comunes que pueden presentarse en los diferentes tipos de lagunas de estabilización.

Las lagunas de estabilización presentan una inercia considerable que les 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.

INDICADORES DE BUEN FUNCIONAMIENTO EN LAGUNAS ANAEROBIAS

Las características del buen funcionamiento de las lagunas anaerobias se describen a continuación.

- El agua en las lagunas anaerobias presenta un color gris.
- Se observa una salida continua de gases desde el fondo, que se refleja en un burbujeo.
- La superficie de la laguna debe estar total o parcialmente cubierta por una capa formada principalmente por grasas.
- Los taludes internos deben de estar libres de vegetación, tanto malas hierbas como plantas acuáticas.

PRINCIPALES PROBLEMAS EN LAGUNAS ANAEROBIAS

El funcionamiento adecuado en las lagunas anaerobias presenta una tolerancia bastante baja a cambios medioambientales, tanto en variables como la temperatura y el pH como en la carga orgánica.

Aunque es viable una cierta flexibilidad en estas variables, en ocasiones pueden presentarse circunstancias en las que el proceso no pueda desarrollarse correctamente. Esto da lugar a la aparición de características que indican un mal funcionamiento., como:

Malos olores, los que pueden deberse a una de las razones siguientes:

- Un desbalance en la carga orgánica aplicada a la laguna, que puede ser por encima o por debajo del utilizado para el diseño. Por lo que es necesario que el operador cheque el contenido en materia orgánica del agua residual y se verifique si se encuentra dentro del rango para el cual fue diseñada la laguna. Así se puede comprobar si se trata de una sobrecarga, o por el contrario de que el agua residual diluida.
- Cuando el caudal aumenta o disminuye con respecto al intervalo del diseño, el agua residual permanece de hecho un mayor o un menor tiempo de lo esperado en el diseño de la laguna. Esto puede provoca que produzca un desequilibrio entre las distintas fases de la depuración anaerobia (hidrolítica, acidogénica y metanogénica), con la consiguiente fallo del proceso.
- Baja temperatura ambiente, que da lugar a la disminución en la eficiencia de los mecanismos de depuración.
- Diferencias en la composición del agua residual de la entrada. Es conveniente realizar un análisis detallado del agua residual que constituye la alimentación y es importante enfocarse en 2 puntos: pH del agua residual, que puede presentar valores demasiado altos o bajos (es decir, fuera del rango 6,5-9,0) y presencia de sustancias tóxicas. Cualquiera de estas dos circunstancias es indicativa

de la existencia de un vertido industrial de nueva incorporación a la red de alcantarillado.

De tal manera que al determinar la causa de los malos olores detectados, se deben de tomar medidas inmediatas para evitar los problemas de este tipo en la zona de la laguna de estabilización.

- **Sobrecarga:** Cuando la alimentación presenta cargas orgánicas por encima de las de diseño, o el caudal supera el máximo de diseño, se produce el desequilibrio entre las fases de la depuración, con acumulación de ácidos, descenso del pH y generación de olores. En este caso se pueden emprender las acciones correctoras siguientes:

1. Se debe disminuir la carga aplicada, lo que se consigue bien mediante un dispositivo para cambiar el caudal a otra parte, en el peor de los casos, o poniendo en servicio otra laguna anaerobia, si la instalación se ha efectuado, en forma modular
2. Realizar una «siembra» de bacterias.
3. Ajustar el pH. El ajuste se puede realizar añadiendo una solución de amoníaco o carbonato sódico, hasta que se consigue alcanzar un medio neutro (pH=7).

- En el caso de existir un defecto de carga orgánica en la alimentación, o caudal inferior al mínimo utilizado en el diseño; En este caso se empiezan a desarrollarse algas verdes en la superficie, y se detecta un aumento del pH. En estos casos es conveniente seguir los siguientes pasos:

1. Incrementar la carga. Se debe disminuir la profundidad de trabajo o reducir el número de lagunas anaerobias en servicio.

2. Efectuar una siembra de bacterias que ayuden a incrementar la carga orgánica.

- Caída de la temperatura ambiente. La solución a este problema es intentar aislar las lagunas de la atmósfera. Para ello se puede colocar paja o poliestireno en la superficie, favoreciendo así la formación de una costra aislante, lo que contribuye a mantener la temperatura.

- pH anormal y presencia de sustancias tóxicas. En estos casos es conveniente hacer un by-pass a la planta mientras se averigua el origen del vertido causante de las anomalías.

Una vez localizado el origen del problema se debe exigir el tratamiento de estos vertidos antes de su entronque con la red de alcantarillado, o en su caso desviarlos por medio de un by-pass que los segregue, evitando así su acceso a las instalaciones de la laguna.

La aparición de coloraciones rosa o rojo en las lagunas constituye un fenómeno causado por el desarrollo de bacterias fotosintéticas del azufre, lo que constituye un síntoma de falta de carga en las lagunas anaerobias. Por lo que hay que proceder en la misma forma señalada en el punto anterior

INDICADORES DE BUEN FUNCIONAMIENTO DE LAS LAGUNAS FACULTATIVAS Y DE MADURACION

Los indicadores del correcto funcionamiento de las lagunas facultativas y de maduración son los siguientes:

- La superficie del agua debe no debe presentar material sólido.

- No debe presentarse vegetación en los taludes.
- Uno de los signos de 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 aeróbica 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.
- 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.

PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO EN LAGUNAS FACULTATIVAS Y DE MADURACION

Los problemas más frecuentes en lagunas facultativas son la acumulación de materias flotantes, aparición de malos olores, desarrollo de coloraciones rosa o rojo, y junto con las lagunas de maduración pueden presentar descompensaciones de flujo, el crecimiento de malas hierbas y plantas acuáticas y desarrollo de mosquitos y otros insectos.

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 fango acumulado en el fondo. Este fenómeno suele producirse cuando la temperatura es elevada y se produce un burbujeo muy activo en el fango 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:

- 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 agua corriente, 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 fangos flotantes.

- 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.

El desarrollo de mosquitos y otros insectos es un problema que suele aparecer en los meses de primavera y verano. Lo que se debe hacer es mantener libre de plantas los taludes, es también importante evitar que caigan plantas o ramas a las lagunas,

pues también sirven esto puede servir de soporte para el desarrollo de insectos. En ocasiones la capa de costra de la superficie puede servir de criadero de insectos. En este caso la solución es remover la costra con un rastrillo, para evitar que las larvas de insectos se desprendan y se coloquen en la laguna. No es conveniente el uso de insecticidas, ya que el contacto con el agua residual traería como consecuencia una mayor contaminación de esta. Otra fuente de insectos son los desechos sólidos recogidos de la limpieza de los elementos del pretratamiento, por lo que es *extremadamente importante enterrarlos prontamente.*

El crecimiento de plantas acuáticas provoca 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

Bibliografía cap. 4

Artur J. (1990). "Notes on the design and operation of waste stabilization ponds in warm climates of developing countries". World Bank Technical, No. 7, EUA.

CNA, Manual de diseño de lagunas de estabilización. Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Subdirección general técnica, gerencia de ingeniería básica y normas técnicas. México.

IMTA, CNA, TACSA. (1994) Curso "Manual de operación y mantenimiento de sistemas lagunares" Centro de Capacitación IMTA, Jiutepec Morelos. México.

López Ruiz, Rafael Ing. MSP (2000). Apuntes de tratamiento de aguas residuales. Fac de Ingeniería, UNAM, México.

Módulo de tratamiento de Aguas Residuales (2000). Unidad 6 Lagunas. CIDTA, Universidad de Salamanca, España.

CONCLUSIONES.

Se consideran aguas residuales aquellas cuya composición esta conformada por las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Las aguas residuales se componen, básicamente, de un 99,9% de agua en su estado conocido como de agua potable y de un 0,1% por peso de sólidos, sean éstos disueltos o suspendidos. Este 0,1% referido es el que requiere ser removido para que el agua pueda ser reutilizada.

El evitar la transmisión de enfermedades que utilizan como vehículo de contaminación el agua es el objetivo prioritario. El eliminar los microorganismos patógenos que incrementan la mortalidad entre la población es fundamental para mantener la salud en población. Por lo que el evitar la contaminación de acuíferos con aguas residuales es fundamental para cumplir este objetivo.

El volumen total de aguas residuales producidas en nuestro país es de 6458680 miles de m^3 por año (censo del año 1999). En su mayor parte esta última es producida por los hogares del país (6021773 m^3), lo que representa el 93% del total, dejando el 7% restante a la producida por el comercio, la industria y el servicio público.

Al ser la mayor parte de las aguas residuales producidas en el país de origen domestico por lo que tienen características bien definidas, en su mayoría es

producida por detergentes, jabones y desechos de tipo orgánico, lo que influirá en la elección del método para tratar estas de aguas residuales.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales en México en 1997 suman un total de 602 de las cuales 484 (80%), se encontraban en el momento del censo en operación y 53 (9%), se encontraban fuera de operación y se contabilizaron 65 (11%) plantas en construcción en el momento del censo. Se debe agregar el hecho de que la capacidad de operación de estas plantas no es del 100%, se puede concluir que el problema del tratamiento de las aguas residuales no tratadas se agrava día con día en el país.

Se encontró que las plantas de tratamiento de aguas residuales en la práctica tienen una capacidad de operación de $26.96 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que evidentemente marca un déficit muy amplio entre la cantidad de agua residual producida por el país ($204.8 \text{ m}^3/\text{s}$) y la capacidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

En cuanto a las lagunas de estabilización en el país la Comisión Nacional del Agua establece que son 357 lagunas (330 municipales y 27 industriales) lo que representa el proceso de tratamiento de aguas residuales más utilizado, seguido por el tratamiento de lodos activados con 268 plantas.

Es marcada la preponderancia del tipo de lagunas no aereadas (321) que representan el 97% del total, por sólo 9 de las lagunas aereadas que representan el 3%. La laguna de mayor caudal y trabajando con 80% de eficiencia en la República Mexicana, es la laguna facultativa localizada en Mexicali, Baja California con un caudal de $1,100 \text{ L/s}$.

Se pudo establecer el hecho de que la capacidad del total de las lagunas (en su diseño) es de $13.06 \text{ m}^3/\text{s}$, pero en la práctica, sólo se opera con $8,97 \text{ m}^3/\text{s}$ (CNA,

1995), es decir, al igual que en las plantas de tratamiento de aguas residuales, las lagunas operan sólo una parte de su capacidad instalada.

De lo anterior se concluye que la cantidad de aguas residuales producida en México es muy grande y la capacidad de tratamiento de las aguas residuales es muy baja, lo que conlleva que exista una gran cantidad de agua residual sin ningún tipo de tratamiento lo que agrava el problema de la contaminación de agua y suelo, y las consecuencias que de ello deriva para el país. Por lo que es de primordial importancia señalar las alternativas que deben considerarse para la solución de esta problemática.

Las lagunas de estabilización constituyen uno de los métodos más adecuados para el tratamiento de aguas residuales urbanas o industriales fácilmente biodegradables. Ya que el tratamiento por lagunas de estabilización de las aguas residuales consiste en el almacenamiento de éstas 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 presentes en el medio. Se considera un método biológico natural de tratamiento, basado en los mismos principios por los que tiene lugar la autodepuración en ríos y lagos.

Las lagunas de estabilización se pueden clasificar en: Lagunas aerobias, en estas lagunas se mantiene un ambiente aerobio en toda su profundidad, en las lagunas aerobias se consigue una elevada desinfección del agua tratada, así como la mineralización en los nutrientes orgánicos. Lagunas anaerobias, en estas lagunas la depuración ocurre por la acción de bacterias anaerobias, el objetivo perseguido es retener la mayor parte posible de los sólidos en suspensión, que pasan a incorporarse a la capa de fangos acumulados en el fondo, y eliminar parte de la carga orgánica. Lagunas facultativas, se caracterizan por poseer una zona aerobia, próxima a la superficie, y una zona anaerobia en el fondo, la finalidad de estas lagunas es la

estabilización de la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionado principalmente por las algas presentes.

La disminución significativa de bacterias coliformes responsables de graves enfermedades entre la población son el indicador de la calidad del agua desde el punto de vista de su contaminación por microorganismos patógenos. Su eliminación en las lagunas de estabilización se debe a la acción combinada de varios factores, que en conjunto crean unas condiciones muy desfavorables para su supervivencia.

Los factores que afectan a la desaparición de microorganismos patógenos en las lagunas de estabilización pueden dividirse en las categorías siguientes: **Físicos:** La temperatura y la sedimentación, **Físico-químicos:** La salinidad del agua, pH, concentración de oxígeno disuelto e intensidad de la luz solar. **Factores bioquímicos:** La concentración de nutrientes, presencia de compuestos tóxicos son los principales factores bioquímicos implicados en la eliminación de patógenos.

El diseño y la construcción que se presentan de las lagunas de estabilización están apegadas a la normatividad vigente en el país en el momento de su elaboración, por lo que cumple con los requisitos marcados por las instituciones competentes (CNA, IMTA, NOM, etc.).

Los modelos teóricos requieren muchas determinaciones a nivel laboratorio que sólo se aproximan en forma vaga a lo que sucede en la laguna debido al gran tamaño y complejidad ecológica de éstas. De ellos, es relevante que el diseñador tenga claro las recomendaciones prácticas que resultan de comprender los fenómenos como la insolación, el papel que juegan las algas, etc

Cabe señalar que tanto para el diseño como para la posterior construcción se hace indispensable las experiencias de construcción de lagunas de estabilización de

la región, por lo que es recomendable realizar consultas con los constructores que tengan un experiencia previa.

En cuanto a la construcción, en términos generales y cumpliendo las normatividades señaladas para el diseño, se tiene que las lagunas se construyen generalmente por excavación del terreno natural y formación de un bordo perimetral a fin de aumentar la capacidad de almacenamiento. Una parte del agua queda entonces retenida abajo del nivel del terreno natural y otra parte arriba. Si el suelo natural presenta características adecuadas, el producto de la excavación se emplea para la construcción del bordo. Con frecuencia, el almacenamiento se sobreexcava a mayor profundidad que la requerida por el proyecto ya que los depósitos naturales de suelo normalmente no tienen las características adecuadas para un desplante directo. Se sustituye entonces el material excavado por un relleno seleccionado bien compactado. Cuando la permeabilidad del terreno y de los bordos o las características del fluido almacenado lo hacen necesario, los taludes y el fondo se recubren con un revestimiento impermeabilizante adecuado que reduce las pérdidas de líquido por filtración, por lo que es necesario realizar estudios de mecánica de suelos.

Una de las principales ventajas de la construcción de las lagunas de estabilización es su bajo costo. Ya que este tipo de construcción puede realizarse en forma eficiente y económica, lo que explica, en parte, que las lagunas artificiales tengan actualmente tanta aceptación para el tratamiento de aguas residuales.

Se hace mención de los principales cuidados que se deben de tener en las lagunas de estabilización para su funcionamiento y conservación, destacando en primer lugar un adecuado mantenimiento de las instalaciones, así como su correcto uso, ya que las medidas preventivas que se tomen serán determinantes para no llegar al mantenimiento correctivo, el cual además de ser caro puede detener

momentáneamente la operación de las instalaciones, con las consecuencias que esto significa para la contaminación acuífera de la zona donde este instalada. Asimismo se señalan los problemas principales que surgen en las lagunas de estabilización, observados a través de la experiencia, e indicando los principales aspectos a ser analizados y las medidas concretas que se deben de tomar para dar una solución a éste tipo de eventualidades.

En conclusión, las lagunas de estabilización son una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales en México, ya que permiten cumplir los objetivos básicos del tratamiento: Prevenir la transmisión de enfermedades por vía hídrica, evitar la contaminación del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas, y la reutilización del agua.

En resumen:

Las aguas residuales se componen básicamente de un 99.9% de agua potable y de un 0.1% por peso en sólidos que pueden ser suspendidos o disueltos. Estos sólidos provienen básicamente de las descargas de los usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas y domésticos.

El evitar la contaminación de los acuíferos de agua potable es fundamental para mantener la salud de la población y evitar la transmisión de enfermedades que utilizan el agua como vehículo.

La cantidad de aguas residuales en México es del orden de 204.8 m³/s y la capacidad de las plantas de tratamiento operan a una capacidad del orden de 26 96 m³/s y las lagunas existentes operan a 13.06 m³/s lo que conlleva un marcado déficit en el tratamiento de aguas residuales en nuestro país.

Las lagunas de estabilización se clasifican de acuerdo a sus características intrínsecas básicamente en tres tipos: Lagunas aerobias, lagunas anaerobias y lagunas facultativas.

Los factores mediante los cuales las lagunas de estabilización provocan la desaparición de microorganismos patógenos son: Físicos, físico-químicos y bioquímicos.

El diseño y la construcción que se presentan de las lagunas de estabilización se exponen con base en los requerimientos propios exigidos por las instituciones responsables de las políticas de tratamiento de aguas residuales en el país.

Las lagunas de estabilización son una alternativa tecnológica y económicamente viables para el tratamiento de aguas residuales en el país que pueden contribuir a la solución de este grave problema.

APENDICE. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996.

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales

Al margen de un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos - Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

JULIA CARABIAS LILLO, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 32 Bis fracciones I, IV y V de la ley Orgánica de la Administración Pública Federal, 95, 86 fracciones I, III y VII, 92 fracciones II y IV y 119 de la Ley de Aguas Nacionales, 50. fracciones VIII y XV, 80. fracciones II y VII, 36, 37, 117, 118 fracción II, 119 fracción I inciso a), 123, 171 y 173 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 45, 46 fracción II y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, he tenido a bien expedir la siguiente Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, y

C O N S I D E R A N D O

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 24 de junio de 1996, a fin de que los interesados en un plazo de 90 días naturales presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en avenida Revolución 1425, mezzanine planta alta, colonia Tlacopac, código postal 01040, de esta ciudad

Que durante el plazo a se refiere el considerando anterior y de conformidad con lo dispuesto en el artículo 45 del ordenamiento legal citado, estuvieron a disposición del público los documentos a que se refiere dicho precepto

Que de acuerdo con lo que disponen las fracciones II y III del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los comentarios presentados por los interesados fueron analizados en el seno del citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes a dicha Norma. las respuestas a los comentarios de referencia fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 24 de diciembre de 1996

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de Normas Oficiales Mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 30 de octubre de 1996, aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES

INDICE

1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Especificaciones

- 5 Métodos de prueba
6. Verificación
7. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales
- 8 Bibliografía
- 9 Observancia de esta Norma
- 10 Transitorio

1 Objetivo y campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes pluviales independientes.

2. Referencias

- Norma Mexicana NMX-AA-003 Aguas residuales -
Muestreo publicado en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de 1980
- Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas -
Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales - Método del cono Imhoff, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de septiembre de 1977
- Norma Mexicana NMX-AA-005 Aguas -
Determinación de grasas y aceites - Método de extracción Soxhlet, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de agosto de 1980.
- Norma Mexicana NMX-AA-006 Aguas-
Determinación de materia flotante- Método visual con malla específica, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de diciembre de 1973.
- Norma Mexicana NMX-AA-007 Aguas-
Determinación de la temperatura- Método visual con termómetro, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de julio de 1980
- Norma Mexicana NMX-AA-008 Aguas-
Determinación de pH- Método potenciométrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de 1980
- Norma Mexicana NMX-AA-026 Aguas-
Determinación de nitrógeno total- Método Kjeldahl, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de octubre de 1980.
- Norma Mexicana NMX-AA-028 Aguas-
Determinación de demanda bioquímica de oxígeno - Método de incubación por diluciones, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de julio de 1981.
- Norma Mexicana NMX-AA-029 Aguas -
Determinación de fósforo total - Método de extracción Soxhlet, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de octubre de 1981
- Norma Mexicana NMX-AA-034 Aguas -
Determinación de sólidos en agua - Método gravimétrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de julio de 1981
- Norma Mexicana NMX-AA-042 Aguas -
Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales - Método de tubos múltiples de fermentación, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de junio de 1987

- Norma Mexicana NMX-AA-046 Aguas -
 Determinación de arsénico en agua - Método espectrofotométrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de abril de 1982
- Norma Mexicana NMX-AA-051 Aguas -
 Determinación de metales - Método espectrofotométrico de absorción atómica, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de febrero de 1982
- Norma Mexicana NMX-AA-057 Aguas -
 Determinación de plomo - Método de la ditzona, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de septiembre de 1981
- Norma Mexicana NMX-AA-058 Aguas -
 Determinación de cianuros - Método colorimétrico y titulométrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de diciembre de 1982
- Norma Mexicana NMX-AA-060 Aguas
 Determinación de cadmio - Método de la ditzona, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de abril de 1982
- Norma Mexicana NMX-AA-064 Aguas -
 Determinación de mercurio - Método de la ditzona, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de marzo de 1982
- Norma Mexicana NMX-AA-066 Aguas -
 Determinación de cobre - Método de la neocuproína, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 16 de noviembre de 1981.
- Norma Mexicana NMX-AA-078 Aguas -
 Determinación de zinc - Métodos colorimétricos de la ditzona, la ditzona II y espectrofotometría de absorción atómica, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 12 de julio de 1982.
- Norma Mexicana NMX-AA-079 Aguas Residuales -
 Determinación de nitrógeno de nitratos (Brcuna), publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de abril de 1986
- Norma Mexicana NMX-AA-099-
 Determinación de nitrógeno de nitratos - Agua potable, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 11 de febrero de 1987

3 Definiciones

3.1 Aguas costeras.

Son las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fija el derecho internacional, así como las aguas marinas interiores, las lagunas y esteros que se comunican permanentemente o intermitentemente con el mar

3.2 Aguas nacionales

Las aguas propiedad de la nación, en los términos del párrafo quinto del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

3.3 Aguas residuales.

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas

3.4 Aguas pluviales.

Aquellas que provienen de lluvias, se incluyen las que provienen de nieve y granizo

3.5 Bienes nacionales

Son los bienes cuya administración está a cargo de la Comisión Nacional del Agua en términos del artículo 113 de la Ley de Aguas Nacionales

3.6 Carga contaminante.

Cantidad de un contaminante expresada en unidades de masa por unidad de tiempo, aportada en una descarga de aguas residuales

3.7 Condiciones particulares de descarga.

El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por la Comisión Nacional del Agua para el responsable o grupo de responsables de la descarga o para un cuerpo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

3.8 Contaminantes básicos.

Son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl de nitratos, expresadas como mg/litro de nitrógeno), fósforo total, temperatura y pH.

3.9 Contaminantes patógenos y parasitarios.

Son aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los coliformes fecales y los huevos de helminto.

3.10 Cuerpo receptor.

Son las corrientes, depósitos naturales de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas cuando puedan contaminar el suelo o los acuíferos.

3.11 Descarga.

Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación.

3.12 Embalse artificial

Vaso de formación artificial que se origina por la construcción de un bordo o cortina y que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

3.13 Embalse natural

Vaso de formación natural que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

3.14 Estuario.

Es el tramo del curso de agua bajo la influencia de las mareas que se extiende desde la línea de costa hasta el punto donde la concentración de cloruros en el agua es de 250 mg/l.

3.15 Humedades naturales.

Las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénagas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos, originadas por la descarga natural de acuíferos.

3.16 Límite máximo permisible.

Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.

3.17 Metales pesados y cianuros

Son aquellos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros.

3.18 Muestra completa

La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la Tabla 1. Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

TABLA 1

HORAS POR DIA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	FRECUENCIA DE MUESTREO		INTERVALO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
	NUMERO DE MUESTRAS SIMPLES	MINIMO	MAXIMO	
Menor que 4	minimo 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	

3.19 Muestra simple

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

$$VMSi = VMCx(Qi/Qt)$$

Donde:

VMSi=volumen de cada una de las muestras simples "i", litros

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

Qi =caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, litros por segundo.

Qt =Qi hasta Qn, litros por segundo.

3.20 Parámetro

Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y biológica del agua.

3.21 Promedio diario (P.D.)

Es el valor que resulta del análisis de una muestra compuesta. En el caso del parámetro grasas y aceites, es el promedio ponderado en función del caudal, y la media geométrica para los coliformes fecales, de los valores que resulten del análisis de cada una de las muestras simples tomadas para formar la muestra compuesta. Las unidades de pH no deberán estar fuera del rango permisible, en ninguna de las muestras simples

3.22 Promedio mensual (P.M.)

Es el valor que resulte de calcular el promedio ponderado en función del caudal, de los valores que resulten del análisis de al menos dos muestras compuestas (Promedio diario).

3.23 Riego no restringido

La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas en forma ilimitada como forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras

3.24 Riego restringido.

La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, excepto legumbres y verduras que se consumen crudas.

3.25 Río.

Corriente de agua natural, perenne o intermitente, que desemboca a otras corrientes, o a un embalse natural o artificial, o al mar

3.26 Suelo

Cuerpo receptor de descargas de aguas residuales que se utiliza para actividades

especifique)	(A)		(B)		(C)		(B)		(C)		usos (A)		(A)	
	P.M.	P.D	P.M.	P.D	P.M.	P.D	P.M.	P.D	P.M.	P.D	P.M.	P.D	P.M.	P.D
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
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
Cianuro	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	2.0	3.0	1.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.5
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.010	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
Níquel	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
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(*) 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

4.2 Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas nacionales y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100ml para el promedio mensual y diario, respectivamente.

4.3 Para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego restringido, y de cinco huevos por litro para riego no restringido, lo cual se llevará a cabo de acuerdo a la técnica establecida en el anexo 1 de esta Norma.

4.4 Al responsable de la descarga de aguas residuales que antes de la entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana se le hayan fijado condiciones particulares de descarga, podrá optar por cumplir los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma, previo aviso a la Comisión Nacional del Agua.

4.5 Los responsables de las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales deben cumplir con la presente Norma Oficial mexicana de acuerdo con lo siguiente

a) Las descargas municipales tendrán como límite las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 4. El cumplimiento es gradual y progresivo, conforme a los rangos de población. El número de habitantes corresponde al determinado en el XI Censo Nacional de Población y Vivienda, correspondiente a 1990, publicado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

TABLA 4	
DESCARGAS MUNICIPALES	
FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE.	
RANGO DE POBLACION	
1 de enero de 2000	mayor de 50,000 habitantes
1 de enero de 2005	de 20,001 a 50,000 habitantes
1 de enero de 2010	de 2,501 a 20,000 habitantes

b) Las descargas no municipales tendrán como plazo límite hasta las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5. El cumplimiento es gradual y progresivo, dependiendo de la mayor carga contaminante, expresada como demanda bioquímica de oxígeno5 (DBO5) o sólidos suspendidos totales (SST), según las cargas del agua residual, manifestadas en la solicitud de permiso de descarga, presentada a la Comisión Nacional del Agua