

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN PARA  
EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

**TESIS**

Presentada a la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad de San Carlos

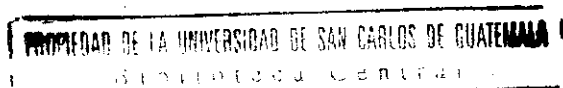
Por:

**JORGE ANTONIO MARTÍNEZ SUM**

Al conferírsele el título de

**INGENIERO CIVIL**

Guatemala, junio de 1997



**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideracion mi trabajo de tesis titulado :

**LAGUNAS DE ESTABILIZACION PARA  
EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

tema que me fuera asignado por la Direccion de la Escuela de Ingenieria Civil con fecha 06 de Mayo de 1994.



**Jorge Antonio Martinez Sum**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS
VOCAL 1o.	ING. MIGUEL ÁNGEL SÁNCHEZ GUERRA
VOCAL 2o.	ING. JACK DOUGLAS IBARRA SOLORZANO
VOCAL 3o.	ING. JUAN ADOLFO ECHEVERRÍA MÉNDEZ
VOCAL 4o.	Br. VÍCTOR RAFAEL LOBOS ALDANA
VOCAL 5o.	Br. WARNER GUSTAVO LÓPEZ CÁCERES
SECRETARIO	ING. GILDA MARINA CASTELLANOS DE ILLESCAS

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO**

DECANO	ING. JULIO ISMAEL GONZÁLEZ PODSZUECK
EXAMINADOR	ING. JOSÉ EDUARDO RAMÍREZ SARAVIA
EXAMINADOR	ING. HUGO ISMAEL HERRERA SEGURA
EXAMINADOR	ING. OSCAR ROLANDO MAJUS FERNÁNDEZ
SECRETARIO	ING. FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ LÓPEZ

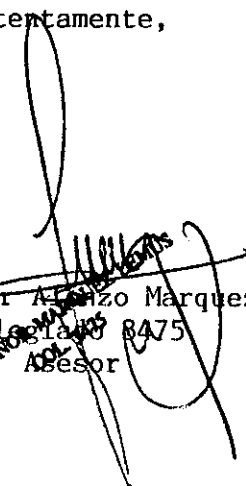
Guatemala, octubre 25 de 1,996

Ingeniero  
Marco Tulio Ventura Roldán  
Jefe del Departamento de Hidráulica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Ventura:

Por este medio le comunico que he revisado el trabajo de tesis del estudiante universitario Jorge Antonio Martínez S., titulado: **"LAGUNAS DE ESTABILIZACION PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES"**, el cual cumple con los requisitos necesarios por tal razón cuenta con mi aprobación.

Atentamente,

  
Ing. Myrno Alfonso Marquez L.  
Colegiado 8475  
Asesor



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, enero 28 de 1997

Ingeniero  
Jack Douglas Ibarra Solórzano  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Señor Director:

Por este medio le informo que he revisado el trabajo de Tesis del Estudiante **JORGE ANTONIO MARTINEZ SUM**, Carnet No.8815955, titulado "**LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**", cumpliendo con todos los requisitos para su aprobación, y a su vez refleja una guía para la realización de este tipo de obras, tan necesarias en nuestro País.

Por lo anteriormente expuesto, puede continuar con los trámites respectivos.

Sin otro particular me suscribo de usted, Atentamente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
ING. MARCO TULLIO VENTURA ROLDÁN  
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE HIDRAÚLICA



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del asesor Ing. Mynor Alonzo Márquez Lemus y del Jefe del Departamento de Hidráulica, Ing. Marco Tulio Ventura Roldán, del trabajo de tesis del estudiante Jorge Antonio Martínez Sum, titulado LAGUNAS DE ESTABILIZACION PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

  
Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, mayo de 1,997.

JDIS/bbdeb.



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis **LAGUNAS DE ESTABILIZACION PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**, del estudiante Jorge Antonio Martínez Sum, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

  
Ing. Herbert René Miranda Barrios

DECANO

Guatemala, junio de 1, 1997



14/06/97

## **ACTO QUE DEDICO A :**

- A DIOS :** Agradesco infinitamente haberme enseñado el camino del saber y ser mi guía en todos los momentos de mi vida
- MIS PADRES :** Jorge Isidro Martínez García  
Elsa Aura de Martínez  
Por su orientación y apoyo incondicional
- MIS HERMANOS :** Nancy Susana y Hans Ronald  
Por su comprensión
- MIS AMIGOS Y AMIGAS :** Por su apoyo en todo momento

**LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS**

**LA FACULTAD DE INGENIERIA**

**INSTITUTO NACIONAL CENTRAL PARA VARONES**



# INDICE GENERAL

	PAGINA
Lista de símbolos	1
Glosario	4
Introducción	6
<b>CAPITULO 1. ASPECTOS TEORICOS</b>	<b>7</b>
1.1 Características físicas de las aguas	7
1.2 Características químicas de las aguas	8
1.3 Características biológicas de las aguas	9
1.4 Teoría de las operaciones y procesos de tratamiento de las aguas residuales	10
1.4.1 Operaciones físicas unitarias	10
1.4.2 Procesos químicos unitarios	17
1.4.3 Procesos biológicos unitarios	20
1.4.3.1 Procesos de tratamiento biológico	20
1.5 Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales	22
1.5.1 Pretratamiento	22
1.5.2 Tratamiento primario	23
1.5.3 Tratamiento secundario	29
1.5.4 Desinfección	32
1.5.5 Tratamiento terciario	33

<b>CAPITULO 2. LAGUNAS DE ESTABILIZACION</b>	<b>34</b>
2.1 Definición de lagunas de estabilización	34
2.2 Objetivo de las lagunas de estabilización	35
2.3 Lagunas de estabilización en serie y paralelo	36
2.3.1 Lagunas en serie	36
2.3.2 Lagunas en paralelo	37
2.4 Accesorios en lagunas de estabilización	37
2.4.1 Uso de equipo de bombeo	37
2.4.2 Uso de aireación mecánica	37
2.4.3 Uso de cloración final del efluente	37
2.5 Componentes hidráulicos en lagunas de estabilización	38
2.5.1 Rejas	38
2.5.2 Desarenadores	39
2.5.3 Medición y registro	39
2.5.4 Canales de conducción	41
2.5.5 Repartidores de flujo	41
2.5.6 Estructuras de entrada, interconexión y salida	42
<b>CAPITULO 3. DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION</b>	<b>44</b>
3.1 Criterios de dimensionamiento	44
3.1.1 Lagunas anaeróbicas	44
3.1.2 Lagunas facultativas	44

3.1.3	Lagunas secundarias y de acabado	45
3.1.4	Eficiencia en la remoción de patógenos	45
3.1.5	Eficiencia en la remoción de carga orgánica	48
3.2	Criterios de diseño propuestos	50
3.2.1	Dos lagunas anaeróbicas primarias	50
3.2.2	Laguna secundaria alargada	51
3.2.3	Dimensionamiento obtenido	52
3.2.3.1	Dos lagunas anaerobicas primarias	52
3.2.3.2	Laguna secundaria alargada	53
3.2.4	Ejemplo	53
3.3	Directrices sanitarias de la Organización Munidal de la Salud sobre el uso de aguas residuales	63
3.3.1	Directrices sobre la calidad de los efluentes empleados en agricultura	63
3.3.2	Directrices sobre la calidad de los efluentes empleados en acuicultura	66
<b>CAPITULO 4. OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION</b>		67
4.1	Operación de lagunas de estabilización	67
4.1.1	Operación de rutina	67
4.2	Secado de la laguna de estabilización	68
4.3	Acumulación, manejo y remoción de lodos	68
4.4	Problemas especiales	69
4.4.1	Dificultad al iniciar la operación	69

4.4.2 Tendencia de la laguna a secarse	70
4.4.3 Tendencia de la laguna a desbordarse	70
4.4.4 Producción de malos olores	70
4.4.5 Problemas con los diques	71
4.4.6 Problemas con las obras de arte	71
Conclusiones	72
Recomendaciones	73
Bibliografía	74

## LISTA DE SIMBOLOS

A	Area de la laguna
cm	Centímetros
D	Coefficiente de dispersión en $m^3/día$
d	Dispersión
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DBO <sub>5</sub>	Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días
DQO	Demanda química de oxígeno
e	Espesor
efCF	Eficiencia en remoción de coli fecal
efDBO	Eficiencia en remoción de DBO
H	Altura
HCF	Factor de calibración hidráulica
ha	Habitantes
i	Intensidad de carga permisible en la laguna, en Kg. de DBO <sub>5</sub> por hectárea por día
$i_{20}$	intensidad de carga permisible a 20 °C
IAF	Factor de DBO intrínseca de las algas
K	Constante de decaimiento de DBO (1/días)
K <sub>20</sub>	Constante de decaimiento de DBO a 20 °C
Kg	Kilogramos
K <sub>6</sub>	Constante de decaimiento de colifecal (1/días)

$K_{b20}$	Constante de decaimiento de colifecal (1/días) a 20 °C
$K_b$	Constante de remoción de DBO
$l$	litros
$L$	Longitud
$L_p$	DBO <sub>5</sub> del efluente de las lagunas o carga en el efluente
$L_{co}$	Concentración inicial de carga orgánica en mg DBO/l
$L_{cp}$	Concentración de DBO del efluente
$L_o$	DBO <sub>5</sub> del afluente de las lagunas o carga orgánica inicial
$m$	Metros
$m^3$	Metros cúbicos
$N$	Concentración de bacterias coliformes en el efluente
$N_o$	Número de bacterias coliformes fecales (por 100 ml) en el afluente
OD	Oxígeno disuelto
pH	Concentración de ion hidrogeno
$p$	Población
$Q$	Caudal de aguas residuales
$R$	Periodo de retención en días
SCF	Factor de características de sedimentacion
$s$	Segundo
$t$	Tiempo (en días)
$t_p$	Tiempo promedio
$T$	Temperatura promedio del agua (°C)

<b>U</b>	<b>Velocidad media en la laguna en m/día</b>
<b>V</b>	<b>Volumen de la laguna en m<sup>3</sup></b>
<b>W</b>	<b>Ancho de la laguna en m</b>
<b>Wp</b>	<b>Lado medio en m</b>
<b>Yc</b>	<b>DBO per capita a 5 días y 20°C</b>
<b>Yo</b>	<b>DBO al inicio de las operaciones</b>
<b>Z</b>	<b>Profundidad de la laguna</b>
<b>Za</b>	<b>Profundidad adicional</b>

## GLOSARIO

**ADICION :**

Acción o efecto de agregar o añadir partículas.

**ALCALINIDAD :**

Acción de oxidación de los metales como el sodio, potasio, litio y cesio.

**ADSORCION :**

Fenómeno por el que los gases, vapores y sustancias disueltas se fijan en la superficie de cuerpos sólidos.

**ANAEROBIO :**

Dícese del microorganismo que puede vivir sin oxígeno.

**AEROBIO :**

Dícese del ser vivo que necesita del oxígeno del aire para subsistir

**AIREACION :**

Ventilación, renovación del aire de un ambiente.

**BIOMASA :**

Es una masa biológica

**BIOGAS :**

Gas biológico

**COLOIDAL :**

Relativo a los coloides. Cuerpos que al dispersarse en un fluido (líquido o gas) lo hacen de manera que sus partículas adquieran un tamaño comprendido entre 1 y 100 milimicras ( 1 milimicra =  $1 \text{ m}\mu = 10^{-10} \text{ cm}$ ), formando una solución coloidal.

**CICLO :**

Serie regular de cambios que supone un retorno al estado primitivo y su repetición.

**COAGULACION :**

Precipitación de un coloide, por acción de un agente físico (calor) o químico (alcohol, ácidos).

**DECANTACION :**

Separación por la acción de la gravedad, de dos o más cuerpos que no se puedan mezclar, cuando por lo menos uno de ellos es líquido.



**DESBASTE :**

Acción o efecto de limpieza de partes más gruesas de un cuerpo.

**ESTATORICA:**

Parte fija de un mecanismo.

**FLOCULO :**

Coloide en forma de copo.

**FANGO :**

Lodo espeso que se sedimenta en las aguas estancadas.

**INFILTRACION :**

Paso lento de un líquido a través de los espacios pequeños entre dos cuerpos o entre las partes de un mismo cuerpo.

**INMERSION :**

Introducción de una cosa en un líquido.

**MICROORGANISMO :**

Organismo de tamaño microscópico.

**PROTISTAS :**

Son el grupo más importante de los microorganismos como las bacterias y los protozoos.

**REACTOR :**

Propulsor aéreo que utiliza el aire ambiente como combustible y funciona por reacción directa sin ayuda de hélice.

**VAPORIZACION :**

Conversión de un líquido en vapor o gas.

## INTRODUCCION

El presente trabajo de tesis tiene como finalidad el hacer un análisis de la opción tecnológica mediante la cual el tratamiento de aguas residuales alcance su máxima eficiencia.

Las lagunas de estabilización, en base al período de retención y a mecanismos naturales, pueden lograr la remoción total de parásitos, bacterias y virus patógenos. Ningún sistema convencional, tipo lodos activados o filtros biológicos, puede competir con la eficiencia de remoción de patógenos que se logra en las lagunas de estabilización, a menos que finalizado el tratamiento se haga un pulimento mediante un proceso de desinfección del efluente. Esto obviamente encarece y hace más compleja la operación y el mantenimiento.

Los efluentes de las lagunas de estabilización, en función a su calidad bacteriológica, permiten su uso en cualquier actividad agropecuaria, desde la horticultura, forestación, cultivos agro-industriales, hasta la acuicultura.

Sin embargo, debe hacerse especial mención al hecho que la presencia de tóxicos como los metales pesados entre otros, provenientes de las descargas de aguas residuales industriales a la red de alcantarillado municipal es una limitante para el rehuso de aguas residuales. Su presencia no solo reduciría la eficiencia de los procesos biológicos que se dan en una laguna, sino que además los tóxicos se acumularán a través de la cadena alimenticia en los productos de consumo humano que se pretendan producir con el uso de aguas residuales tratadas o no, exponiendo a graves riesgos la salud de los consumidores.

Otro factor importante son los requerimientos para la operación y mantenimiento de lagunas de estabilización son mínimos comparados con los sistemas convencionales, en los que existen equipos mecánicos de dosificación, bombeo y aireación, con sus respectivas mediciones y controles. Además, al operar con el sistema de lagunas, tampoco existe la dependencia de mantenimiento preventivo y correctivo de equipos electromecánicos, ya que los procesos biológicos involucrados en una laguna son naturales y no los requieren, adecuándose de esta forma a las posibilidades económicas, de espacio, valor de la tierra y de recursos humanos del país.

Las razones expuestas conllevan a que al seleccionar la tecnología óptima de tratamiento de aguas residuales las lagunas de estabilización estén dentro de las primeras opciones, por lo cual este trabajo profundiza acerca de su diseño y la operación y mantenimiento de las mismas.

## CAPITULO 1

# ASPECTOS TEORICOS

### 1.1 CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS AGUAS

Las características físicas más importantes del agua residual son su contenido total de sólidos, el cual está compuesto por materia flotante y materia en suspensión. Otras características son la temperatura, el color y olor.

#### 1.1.1 Sólidos Totales:

Proceden del agua de abastecimiento industrial y doméstico, agua de infiltración de pozos locales y aguas subterráneas. El contenido total de un agua residual se define como toda la materia que queda como residuo de evaporación de 103 °C a 105 °C.

Los sólidos totales, o residuos de evaporación pueden clasificarse como: Sólidos suspendidos o sólidos filtrables, su tamaño es de aproximadamente 1 micra (mm). La fracción de sólidos suspendidos incluye los sólidos sedimentables que son los que se depositan en el fondo de un recipiente en forma de cono (llamado tanque Inhoff) durante un período de 60 minutos, son una medida aproximada de la cantidad de fango que se eliminará mediante la sedimentación. La fracción de sólidos filtrables se compone de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal consiste en partículas con un diámetro que oscila entre 10<sup>-3</sup> y 1mm. Los sólidos disueltos, se componen de moléculas orgánicas e inorgánicas.

#### 1.1.2 Temperatura:

Generalmente más alta que la del agua de suministro, varía de 10°C a 21°C. La temperatura es un parámetro muy importante por el efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas y velocidades de reacción y la aplicabilidad del agua a usos útiles.

#### 1.1.3 Color:

El agua residual reciente tiene un color gris, sin embargo, como quiera que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce a cero y el color cambia a negro; en esta condición se dice que el agua residual es séptica.

## **1.2 CARACTERISTICAS QUIMICAS**

### **1.2.1 Materia Orgánica:**

En un agua residual de intensidad media, un 75% de los sólidos suspendidos y un 40% de los sólidos filtrables son de naturaleza orgánica, proceden de los reinos animal y vegetal y de las actividades humanas relacionada con la síntesis de compuestos orgánicos.

Los principales grupos de sustancias orgánicas halladas en el agua residual son:

1. Proteínas
2. Carbohidratos
3. Grasas animales, aceites y grasas
4. Agentes tensoactivos ( causa espuma en la aireación)
5. Fenoles ( concentración hasta 500 mg./lt )
6. Pesticidas y productos químicos agrícolas

Métodos para la medición del contenido orgánico

1. Demanda Bioquímica de Oxígeno ( D B O )
2. Demanda Química de Oxígeno ( D Q O )
3. Carbono Orgánico Total ( C O T )
4. Demanda Total de Oxígeno ( D T O )

### **1.2.2 Materia Inorgánica:**

Varios componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales tienen importancia para el establecimiento y control de la calidad del agua.

Las aguas residuales, a excepción de algunos residuos industriales, son raramente tratadas para la eliminación de los constituyentes inorgánicos que se añaden en el ciclo de su utilización, puesto que las concentraciones de los distintos constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua, conviene examinar la naturaleza de algunos de aquellos, especialmente los añadidos al agua superficial por el ciclo de su utilización. Algunos constituyentes inorgánicos se presentan a continuación:

pH, Cloruros, Alcalinidad, Nitrógenos, Fósforo, Azufre.

Compuestos tóxicos

El cobre, plomo, plata, cromo, arsénico y boro son tóxicos en distintos grados para los microorganismos y, por tanto, deben tenerse en consideración al proyectar una planta de tratamiento biológico.

### **Metales pesados**

Vestigios de muchos metales, tales como el níquel (Ni), manganeso (Mn), plomo (Pb), cromo (Cr), cadmio (Cd), cinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y mercurio (Hg) son importantes constituyentes de muchas aguas.

Algunos de estos metales son necesarios para el desarrollo de la vida biológica y su ausencia en cantidades suficientes podría, limitar el crecimiento de las algas.

### **Gases**

Los gases más frecuentemente encontrados en el agua residual sin tratar son : Nitrógenos, oxígeno, anhídrido carbónico, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y metano.

## **1.3 CARACTERISTICAS BIOLOGICAS**

### **1.3.1 Microorganismos**

Los grupos principales de organismos que se encuentran en las aguas superficiales y residuales se clasifican en protistas, plantas y animales. La categoría de las protistas incluyen las bacterias, hongos, protozoos y algas. Como plantas se clasifican las de semillas, helechos, musgos y hepáticas. Como animales se clasifican los vertebrados e invertebrados. Los virus, que también se encuentran en el agua residual, se clasifican según el sujeto infectado.

### **1.3.2 Organismos Coliformes**

Los organismos patógenos son evacuados por los seres humanos que se vean afectados con alguna enfermedad o que sean portadores de alguna enfermedad particular. Los organismos patógenos que normalmente pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del sistema gastrointestinal, tales como la fiebre tifoidea, disentería, diarrea y en ciertos casos el cólera.

Dado que el número de organismos patógenos presentes en las aguas residuales y aguas contaminadas son poco y difíciles de aislar, el organismo coliforme, que es más numeroso y de determinación más sencilla, se utiliza como organismo indicador. La presencia de organismos coliformes se interpreta como una indicación de que los organismos patógenos también pueden estar presentes y su ausencia indica que el agua se halla exenta de organismos productores de enfermedades.

## **1.4 TEORIA DE LAS OPERACIONES Y PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Los contaminantes del agua residual son eliminados por medios físicos, químicos y biológicos. Los medios de tratamiento en que se aplican predominantemente fuerzas físicas se llaman **Operaciones Unitarias**. Operaciones unitarias son pues el desbaste, mezclado, floculación, sedimentación, flotación, elutriación, filtración al vacío, transferencia térmica y secado.

Los medios de tratamiento en los que la eliminación de los contaminantes se consigue mediante la adición de productos químicos o por actividad biológica se conocen por **Procesos Unitarios**, como ejemplo de estos procesos están la precipitación, combustión y oxidación biológica.

### **1.4.1 OPERACIONES FISICAS UNITARIAS**

#### **Desbaste**

La primera operación unitaria en las plantas de tratamiento de aguas residuales es la operación de desbaste. Una rejilla es un dispositivo con aperturas generalmente uniforme, utilizado para retener los sólidos de cierto tamaño que arrastra el agua residual. Los elementos separadores pueden ser alambres, varillas o barras paralelas, rejillas, tela metálica o placas perforadas y las aberturas pueden ser de cualquier forma, aunque generalmente son ranuras circulares o rectangulares. A una rejilla compuesta de varillas o barras paralelas se le llama reja. Aunque una reja sea un dispositivo de desbaste, el uso del término tamiz debe limitarse al tipo que hace uso de placas perforadas o mallas metálicas. Sin embargo, a la función realizada por una reja se la denomina desbaste y al material separado por aquella se le conoce como basuras.

Según el método de limpieza que se utilice, las rejas o tamices son designados como de limpieza mecánica o de limpieza manual.

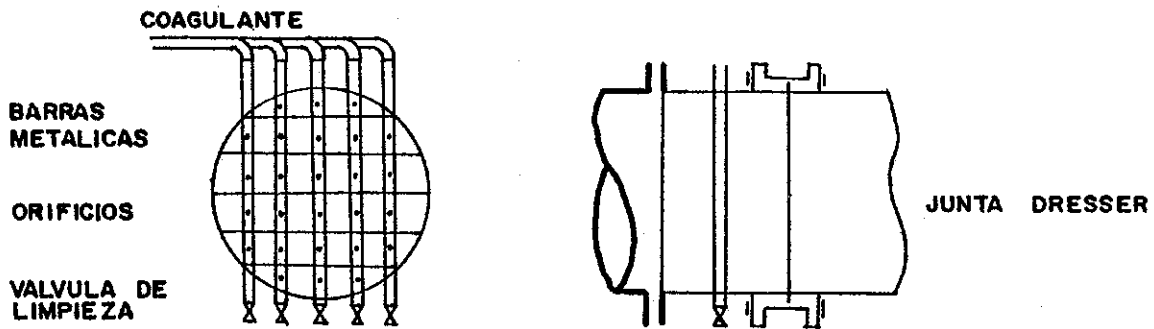
#### **Mezclado**

El mezclado es una importante operación unitaria en muchas fases del tratamiento de aguas residuales en las que una sustancia tenga que ser totalmente entremezclada con otra.

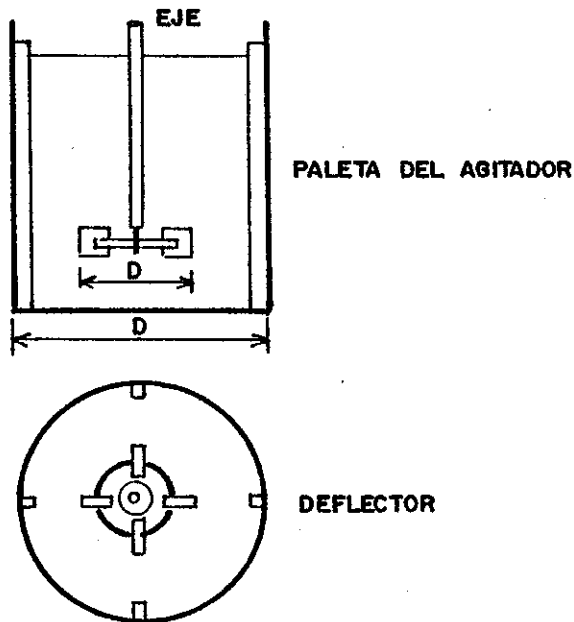
#### **Tipos de mezcladores**

El mezclado de un líquido puede realizarse de varias formas: 1) en resaltes hidráulicos en canales ; 2) en tubos tipo venturi ; 3) en conducciones ; 4) en bombas, y 5) en recipientes con ayuda de medios mecánicos . El mezclado tiene lugar en las cuatro primeras formas citadas como resultado de la turbulencia que existe en el régimen de circulación. En la quinta, la turbulencia es inducida por el uso de impulsores giratorios como paletas, turbinas y hélices.





### 3) DIFUSOR EN TUBERIA DE CONDUCCION



### 4) MEZCLA EN RECIPIENTES CON MEDIOS MECANICOS

#### Floculación

Una parte esencial de cualquier sistema de precipitación química, o químicamente asistida, es la agitación con vistas a aumentar la posibilidad del contacto entre partículas (floculación), tras la adición de los productos químicos. La floculación se ve favorecida por una agitación moderada con paletas a poca velocidad. A veces la acción es mejorada por la instalación de aletas auxiliares fijas, o paletas estáticas, situadas entre las paletas móviles, que sirven para interrumpir la rotación de masa del líquido y activar el mezclado. Un mayor contacto entre las partículas favorecerá la formación de floculos; sin embargo, si la agitación fuese demasiado fuerte, los esfuerzos cortantes que se producen romperán el floculo en partículas más pequeñas. La agitación debe controlarse con mucho cuidado, de modo que los floculos sean del tamaño adecuado y se depositen rápidamente.

Se ha comprobado que una velocidad en la punta de la paleta de aproximadamente 0.6 a 0.9 m/s, consigue suficiente turbulencia sin romper el floculo formado.



## **Sedimentación**

La sedimentación es la separación de las partículas suspendidas más pesadas que el agua, mediante la acción de la gravedad. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales. Se utiliza esta operación para la eliminación de arena, de la materia particulada en el tanque de decantación primaria, de los floculos químicos cuando se emplea la coagulación química y para la concentración de sólidos en los espesadores de fango. En la mayoría de los casos, el propósito fundamental es obtener un efluente clarificado, pero también es necesario producir un fango con una concentración de sólidos que pueda ser manejado y tratado con facilidad.

## **Flotación**

La flotación es una operación unitaria utilizada para separar partículas líquidas o sólidas de una fase líquida o sólida. La separación se consigue introduciendo burbujas finas de gas (generalmente aire) en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas y la fuerza ascendente del conjunto, partícula y burbujas de gas, es tal, que hace que la partícula suba a la superficie. De esta forma se puede hacer ascender a partículas de densidad mayor que el líquido. La elevación de las partículas con densidad menor que el líquido puede, igualmente, verse facilitada.

En el tratamiento de las aguas residuales se utiliza la flotación para eliminar la materia suspendida y concentrar los fangos biológicos. La principal ventaja de la flotación sobre la sedimentación es que las partículas muy pequeñas o ligeras se depositan lentamente y pueden eliminarse mejor y en menor tiempo. Una vez que las partículas están flotando en la superficie, pueden recogerse mediante una extracción superficial.

## **Tipos de Sistemas**

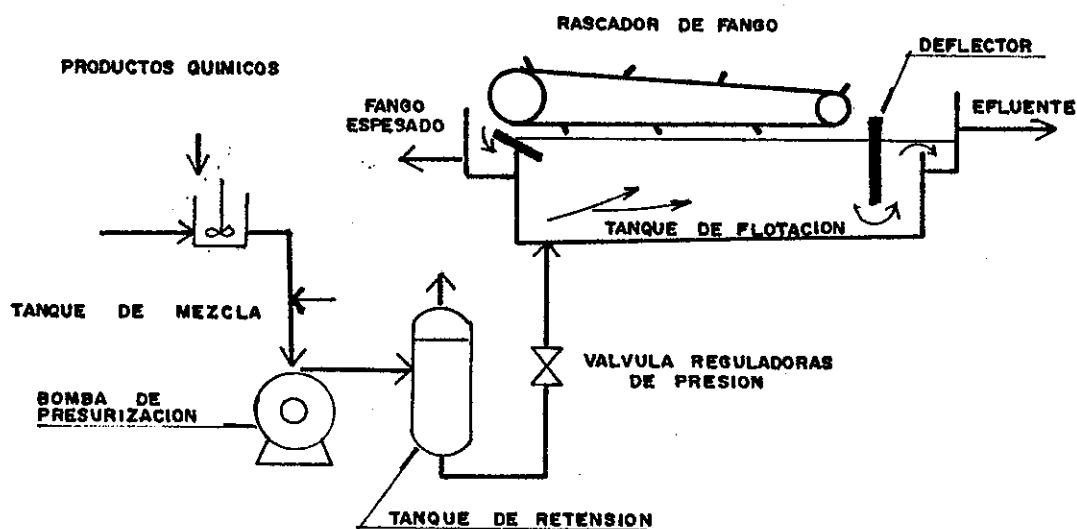
La actual práctica de flotación, tal y como se aplica al tratamiento de aguas residuales municipales, se limita al uso del aire como agente de flotación. Las burbujas de aire se añaden o se inducen su formación, por alguno de los métodos siguientes:

### **1. Flotación por Aire (Aireación a presión atmosférica )**

En este sistema, las burbujas de aire se forman introduciendo la fase gas directamente en la fase líquida, por medio de un impulsor giratorio o de difusores. La aireación por sí sola durante un corto período de tiempo no es especialmente eficaz para conseguir la flotación de sólidos. Los tanques de aireación no garantizan la flotación de la grasa y otros sólidos del agua residual, si bien se han obtenido algunos éxitos con ciertas aguas residuales que producen espumas.

## 2. Flotación por Aire Disuelto

En este sistema, el aire se disuelve en el agua residual bajo una presión de varias atmósferas, y a continuación se procede a la liberación de la presión hasta el nivel atmosférico. En las instalaciones de pequeño tamaño, todo el caudal a tratar puede ser presurizado mediante una bomba a 250 - 350 kg / m<sup>3</sup>, añadiendo el aire comprimido en la aspiración de la bomba. El caudal se mantiene en un tanque de retención bajo presión durante varios minutos para dar tiempo al aire a que se disuelva. Se deja pasar entonces, a través de una válvula reductora de presión, al tanque de flotación, donde el aire deja de estar en disolución y se desprende en forma de burbujas diminutas por todo el volumen del líquido.



**ESQUEMA DE UN TANQUE DE FLOTACION**

## 3. Flotación por Vacío

Consiste este proceso en saturar el agua residual bien directamente en un tanque de aireación o permitiendo que el aire entre en el conducto de aspiración de una bomba de aguas residuales. Al aplicar un vacío parcial, el aire disuelto abandona la solución en forma de burbujas diminutas. Las burbujas y las partículas sólidas adheridas suben a la superficie formando una capa de espuma, que se elimina mediante un rascador superficial. La arena y otros sólidos pesados que se depositan en el fondo se transportan mediante rascadores hacia una poceta central de fangos para su eliminación. Si esta instalación se utiliza para la eliminación de arena y si el fango ha de ser digerido, aquella deberá separarse de éste en un clasificador de arena antes de que se bombee a los digestores.

La instalación se compone de una cuba cilíndrica cubierta en la que se mantiene un vacío parcial. La cuba está equipada con mecanismos para eliminar los fangos y espumas. El material flotante es barrido de modo continuo hacia la periferia de la cuba, se descarga automáticamente en un recogedor de espumas y se extrae de la instalación hacia una bomba que se encuentra también bajo vacío parcial. El equipo auxiliar incluye un tanque de aireación para saturar de aire el agua residual, una cuba que proporciona un tiempo de detención corto a fin de eliminar las burbujas grandes de aire, las bombas de vacío y las bombas de fango y espuma.

### **Elutriación**

La elutriación es una operación unitaria mediante la cual diversos componentes químicos son lixiviados (escurridos) del fango digerido. La operación consiste en mezclar íntimamente un sólido, o una mezcla de un sólido y un líquido, con otro líquido con el fin de transferir ciertos componentes de aquel al líquido último. Un ejemplo típico es el lavado del fango.

La operación normal de lixiviación se compone de dos fases: 1) un mezclado profundo del sólido o de la mezcla sólido-líquido con el líquido de lixiviación, y 2) separación de éste. A cada combinación de mezclado y lavado se le llama etapa. Se dice que una etapa es ideal si la concentración del componente que se está lixiviando es la misma en el líquido que se separa que en el que permanece con los sólidos. El mezclado y separación puede llevarse a cabo bien en el mismo tanque o en tanques distintos. En ingeniería sanitaria, generalmente se usan tanques distintos para cada etapa. Puesto que la alcalinidad suele estar presente en elevadas concentraciones en el fango digerido, se utiliza frecuentemente para medir la eficacia del escurrimiento.

### **Filtración por Vacío**

La función de la operación unitaria de filtración por vacío es reducir el contenido de fango, ya sea crudo, digerido o elutriado, de modo que la concentración de sólidos aumente desde el 5 a 10 % hasta un 30 % aproximadamente. A este porcentaje más elevado, el fango de agua residual es una torta húmeda, fácil de manipular.

En las plantas de tratamiento de aguas residuales, la filtración por vacío es una operación continua que se efectúa por lo general en filtros cilíndricos de tambor. Estos filtros tienen un medio filtrante, que puede ser una tela de fibras sintéticas o naturales, muelles en espiral o tela de malla metálica. El tambor se halla suspendido por encima y se sumerge en un recipiente de fango. Conforme el tambor va girando lentamente, parte de su circunferencia está sometida a un vacío interno que atrae al fango hacia el medio filtrante.

Los resultados procedentes de la operación de los filtros varían mucho según las características del fango que se filtra. Entre otros parámetros, la concentración de sólidos del fango es muy importante. El acondicionamiento químico previo del fango a la filtración se suele realizar para controlar la concentración de sólidos y para mejorar las características de deshidratado.

## **Transmisión Térmica**

La transferencia térmica es la transmisión de energía calorífica desde un medio a otro. Las operaciones unitarias que utilizan la transmisión térmica son la digestión y el secado de fangos. Los digestores anaerobios se mantienen a 32 °C o más, mediante transmisión térmica por medio de intercambiadores de calor o serpentines, y el secado de los fangos se consigue mezclándolos íntimamente con aire caliente en un secadero o situándolos en lechos de secado cubiertos con vidrio o a cielo abierto.

Los tanques de digestión pueden calentarse por medio de agua caliente circulante a través de tuberías situadas dentro de los tanques y pegadas a la pared o bien bombeando fango y líquido a través de intercambiadores de calor externos y con retorno posterior al tanque.

## **Secado**

El secado del fango es una operación unitaria que consiste en reducir el contenido de agua por vaporización de ésta al aire ambiente. En los lechos de secado, las diferencias de presión del valor son la causa de la evaporación a la atmósfera. En los dispositivos mecánicos de secado se dispone de calor adicional para aumentar la capacidad de retención del vapor del aire ambiente y proporcionar así calor latente de evaporación.

### **Secado Instantáneo**

Esta operación supone la pulverización del fango en un molino o bien mediante una técnica de suspensión atomizada en presencia de gases calientes.

La operación consiste en que un molino recibe una mezcla de fango húmedo o torta y fango seco reciclado. La mezcla contiene un 50 % aproximadamente de humedad. Los gases calientes y el fango son forzados hacia un conducto donde tiene lugar la mayor parte del secado y hacia un ciclón que separa el vapor y los sólidos.

Un secadero de rociado hace uso de una cuba centrífuga de gran velocidad en la que se introduce el fango líquido. La fuerza centrífuga sirve para atomizar el fango en finas partículas y para rociarlas por la parte superior de la cámara de secado donde tiene lugar la transferencia constante de humedad a los gases calientes.

### **Secadores Rotativos**

Diversas instalaciones han utilizado secaderos de horno rotativo para el secado del fango y el quemado de residuos industriales y basuras. Como combustible puede utilizarse carbón, aceite, gas, basuras o fango seco.

## Incinerador

Con frecuencia se utiliza un incinerador de pisos múltiples para secar y quemar fangos que previamente han sido parcialmente deshidratados por filtración al vacío. Consiste en una operación a contra corriente, en la que el aire caliente y los productos de combustión atraviesan el fango finalmente pulverizado, que se va rastrando de forma continua para que quede expuesto a la acción de aquellas en toda la superficie.

## 1.4.2 PROCESOS QUIMICO UNITARIOS

Los procesos químicos unitarios más utilizados en el tratamiento de aguas residuales son: 1) precipitación química; 2) transferencia de gases; 3) adsorción; 4) desinfección, y 5) combustión.

### Precipitación Química

La precipitación química en el tratamiento de las aguas residuales lleva consigo la adición de productos químicos con la finalidad específica de mejorar el rendimiento de la planta y eliminar determinados componentes del agua residual. En el pasado se utilizaba la precipitación química para mejorar el grado de eliminación de los sólidos suspendidos y de la DBO en los siguientes casos: 1) cuando se producían variaciones estacionales en la concentración del agua residual; 2) cuando se requería un grado intermedio de tratamiento, y 3) como ayuda en el proceso de sedimentación.

Más recientemente se ha renovado el interés por la precipitación química debido a que puede utilizarse eficazmente para la eliminación del fósforo y puede combinarse con la adsorción por carbono activo dando lugar a un tratamiento completo del agua residual suprimiendo la necesidad del tratamiento biológico y aportando, al mismo tiempo, una mejor eliminación de los productos orgánicos del agua que son resistentes al tratamiento biológico.

### Productos químicos

Se utilizan muchas y muy diversas sustancias como agentes de precipitación. El grado de clarificación obtenido depende de la cantidad de productos químicos utilizados y del cuidado con que se controle el proceso.

Por medio de la precipitación química es posible obtener un efluente limpio, substancialmente exento de materia en suspensión o en estado coloidal. Mediante la precipitación química llega a eliminarse del 80 al 90 % de la materia orgánica y del 80 al 90% de las bacterias. Esta solución puede compararse con la de la sedimentación normal, donde se elimina del 50 al 70 % de la materia suspendida y del 30 al 40 % de la materia orgánica.

## Transferencia de Gases

La transferencia de gases es una parte vital de los procesos de tratamiento de las aguas residuales. Por ejemplo, el funcionamiento de los procesos aerobios tales como fangos activados, filtros biológicos y digestión aerobia, dependen de la disponibilidad de cantidades suficientes de oxígeno. El cloro gas es transferido al agua, con objeto de su desinfección. Un proceso para eliminar compuestos de nitrógeno consiste en la conversión del nitrógeno en amoníaco y en transferir este último del agua al aire. Si el agua residual que entra en la planta del tratamiento es séptica, se tendrá que añadir aire, antes de la sedimentación primaria, en depósitos de preaireación o en los desarenadores aireados, a fin de eliminar los olores y mejorar su tratabilidad.

De las numerosas teorías de transferencia de masa que se utilizan para explicar el mecanismo de la transferencia de gases, una de las más empleadas es la teoría de las dos capas, que se basa en un modelo físico en el que existen dos capas o películas en la interfase gas-líquido. Ambas capas, una de líquido y la otra de gas, procuran una resistencia al paso de moléculas de gas entre las fases líquida y gaseosa. En la transferencia de moléculas de gas de la fase gaseosa a la líquida, los gases ligeramente solubles encuentran la resistencia principal a la transferencia en la capa líquida, en tanto que los gases muy solubles hallan dicha resistencia en la película gaseosa. Los gases de solubilidad intermedia hallan una importante resistencia en ambas capas.

A través de la interfase normal aire-agua no entra oxígeno suficiente en el agua para poder satisfacer las necesidades del tratamiento aerobio de las aguas residuales. Ello es debido a la baja solubilidad del oxígeno y a su consiguiente baja tasa de transferencia.

En las plantas de tratamiento de aguas residuales, la aireación se logra casi siempre con burbujas de aire que se dispersan en el líquido a profundidades de hasta 4.5 metros, mediante pequeños orificios. Los dispositivos de aireación más utilizados son tubos y placas porosas, tuberías perforadas y difusores plásticos y metálicos de diversas formas y tamaños.

Para una cantidad dada de aire introducido en un sistema líquido, la superficie disponible por la que puede tener lugar la transferencia de gas aumenta a medida que el tamaño de las burbujas disminuye.

La transferencia efectiva de gas depende también de la agitación del agua. La turbulencia reduce el espesor de la capa líquida y disminuye la resistencia a la transferencia y a la dispersión del gas disuelto una vez que haya tenido lugar la transferencia.

## Adsorción

El proceso de adsorción consiste, en general, en la captación de sustancias solubles presentes en una solución por una interfase conveniente. La interfase puede encontrarse entre el líquido y un gas, un sólido u otro líquido. La adsorción en la interfase aire-líquido se produce en el proceso de flotación. Sin embargo, solo se considerará el caso de la adsorción en la interfase líquido-sólido. El proceso de adsorción no se ha empleado demasiado hasta ahora en la purificación de las aguas residuales, pero la necesidad de una mayor calidad en el efluente del agua residual tratada lleva a un detenido examen del proceso de adsorción sobre carbón activo.

La adsorción puede describirse como el proceso en el que las moléculas abandonan la solución y quedan retenidas en la superficie sólida mediante enlaces físicos y químicos. A las moléculas se les llama adsorbatos y al sólido se le denomina adsorbente. Si los enlaces que se forman entre el adsorbente y el adsorbato son muy fuertes, el proceso es casi siempre irreversible y se dice que ha tenido lugar una adsorción o químico adsorción. Por otro lado, si los enlaces que se forman fueran muy débiles, se dice que ha tenido lugar una adsorción física. Las moléculas así adsorbidas se eliminan fácilmente, o son desorbidas, por un cambio en la concentración de la solución y por esta razón se dice que el proceso es reversible. La adsorción física es el proceso que ocurre más frecuentemente en la eliminación de los constituyentes de agua residual por carbón activo.

El proceso de adsorción puede dividirse en tres fases: 1) transferencia de las moléculas de adsorbatos a través de la capa que rodea al adsorbente; 2) difusión a través de los poros si el adsorbente es poroso, y 3) adsorción de las moléculas del adsorbato por la superficie activa, incluyendo la formación de enlaces entre el adsorbato y el carbón. La fase 3 se considera muy rápida, ya que el equilibrio en los adsorbentes no porosos puede lograrse en pocos minutos. Las fases 1 y 2 se desarrollan, en cambio, a velocidad limitada. La velocidad de adsorción depende, pues, de la velocidad con que se desplazan las moléculas o se difunden en la solución o de la velocidad con que las moléculas puedan alcanzar la superficie disponible mediante su difusión a través de la capa y el poro.

El tratamiento del agua residual con carbón activo suele considerarse como un proceso de acabado del agua ya tratada por procesos de tratamiento biológico normales. En este caso, el carbón se utiliza para eliminar parte de la materia orgánica residual disuelta.

## **Desinfección**

Las tres clases de organismos entéricos de origen humano de mayores consecuencias en la producción de enfermedades son las bacterias, virus y quistes amebianos. Las enfermedades bacterianas, típicas transmitidas por el agua son : tífus, cólera, para tífus y disentería vacilar. Las enfermedades causadas por virus, transmitidas por el agua, incluyen, en otras, la poliomielitis y la hepatitis infecciosa.

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades. No todos los organismos se destruyen durante el proceso. Esto es lo que diferencia la desinfección de la esterilización, la cual conduce a la destrucción de todos los organismos.

## **Combustión**

A fin de reducir el peso y el volumen del fango y producir un residuo inerte e inodoro para su eliminación final, se practica la combustión de los productos orgánicos en muchas de las grandes instalaciones de tratamiento de aguas industriales y municipales. La « incineración de fangos » es el término con el que se conoce la combustión seca del fango, que generalmente ha sido sometido previamente a filtración por vacío para reducir su contenido de agua.

### **1.4.3 PROCESOS UNITARIOS BIOLÓGICOS**

Los objetivos que persigue el tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. En el caso de agua doméstica, el principal objetivo es reducir el contenido orgánico. Al tratar agua que ha de ser utilizada para fines agrícolas se pretende eliminar los nutrientes que son capaces de estimular el crecimiento de las plantas acuáticas.

En la mayoría de los casos el agua residual puede ser tratada biológicamente, a base de conseguir un control ambiental adecuado.

#### **Conceptos Básicos**

En el pasado los microorganismos se agrupaban en dos reinos: vegetal y animal. Por dificultades taxonómicas, la tendencia actual era clasificarlos en tres grupos: protistas, vegetales y animales. En general, la mayoría de las células vivientes son muy similares, tienen una pared celular que puede ser una membrana flexible o rígida. Si son móviles, poseen por lo general flagelos. El interior de la célula contiene una suspensión coloidal de proteínas, carbohidratos y otros compuestos orgánicos complejos, llamada citoplasma.

#### **Microorganismos Importantes**

1. Bacterias
2. Hongos
3. Algas
4. Protozoos
5. Rotíferos
6. Crustáceos
7. Virus

#### **1.4.3.1 PROCESOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO**

Los procesos biológicos se clasifican según la dependencia del oxígeno por parte de los microorganismos fundamentalmente responsables del tratamiento de residuos. En los procesos aerobios, la estabilización de los residuos se consigue mediante microorganismos aerobios y facultativos; en los procesos anaerobios, se utilizan los microorganismos anaerobios facultativos. Cuando se encuentran presentes los tres tipos de microorganismos, a los procesos se les llama aerobio-anaerobio o facultativos.



## **Tratamiento Aerobio de Aguas Residuales**

Los procesos aerobios que se consideraran son: 1) fangos activados; 2) filtros percoladores, y 3) estanques o lagunas de estabilización aerobios. El proceso de fangos activados se usa casi exclusivamente en las grandes ciudades. Los filtros percoladores son más frecuentes en las ciudades pequeñas y se utilizan asimismo para aguas residuales industriales muy cargadas. Finalmente, los estanques aerobios encuentran aplicación en ciudades pequeñas en las que se dispone de grandes superficies de terreno.

## **Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales**

El tratamiento anaerobio de aguas residuales supone la descomposición de la materia orgánica y/o inorgánica en ausencia de oxígeno molecular. La principal aplicación se halla en la digestión de los fangos de aguas residuales domésticas una vez concentrados, así como en el tratamiento de algunos residuos industriales; sin embargo, mediante el proceso de contacto anaerobio y el filtro anaerobio se ha demostrado que los residuos orgánicos diluidos pueden tratarse anaerobiamente. También se aplica este tratamiento a los estanques y lagunas anaerobias.

Las ventajas e inconvenientes del tratamiento anaerobio de un residuo orgánico, al compararse con otro de tipo aerobio, provienen del lento crecimiento de las bacterias formadoras de metano. El hecho de que estas bacterias formadoras de metano tengan unas tasas de crecimiento muy lento puede comprobarse comparando sus tiempos mínimos medios de retención celular, 3 a 6 días, con las de 6 a 10 horas para bacterias aerobias. El bajo crecimiento significa que solo una pequeña porción del residuo orgánico degradable se sintetiza en nuevas células. Con las bacterias formadoras de metano, la mayor parte del residuo orgánico se transforma en gas metano, el cual es combustible y, por tanto, se trata de un producto final útil. Si se produjesen cantidades suficientes, como suele ocurrir con el fango de las aguas residuales, puede utilizarse para hacer funcionar motores de gas o quemarse para calentar el fango en la digestión.

Debido a la escasa producción de microorganismos en un tratamiento anaerobio de residuos, la necesidad de nutrientes biológicos tales como nitrógeno y fósforo es baja, y la cantidad de microorganismos a purgar es menor si se compara con procesos aerobios tales como el del fango activado. El lento crecimiento de las bacterias formadoras de metano limita igualmente el tratamiento anaerobio de un residuo orgánico, por cuanto dichos microorganismos reaccionan lentamente frente a condiciones ambientales cambiantes. Por ello, se necesitan periodos de tiempo relativamente largos para establecer un sistema equilibrado.

Los sólidos del fango procedentes de proceso aerobios tienen que ser digeridos por lo general anaeróticamente, o deshidratados e incinerados, debido a la gran proporción de materia orgánica celular. Solo proporcionalmente una pequeña cantidad es secada y vendida como fertilizante.

A las altas temperaturas necesarias para lograr un adecuado tratamiento se les achaca con frecuencia los inconvenientes con que tropieza el proceso del tratamiento anaerobio; sin embargo, dichas temperaturas solo son necesarias cuando no puedan obtenerse tiempos medios de retención celular suficientemente largos a las temperaturas nominales. Cuando la temperatura de funcionamiento aumenta, el tiempo mínimo medio de retención celular se reduce significativamente. Quiere esto decir que a temperaturas más altas, el sistema puede ser operado con un menor tiempo medio de retención celular. Si el volumen del reactor pudiera hacerse lo suficientemente grande, se podría realizar el tratamiento adecuado a temperaturas nominales, pero tal tamaño no resultaría práctico.

### **Tratamiento Residual Aerobio-Anaerobio**

Los estanques en los que se efectúa la estabilización de aguas residuales mediante una combinación de bacterias facultativas, anaerobias y aerobias, se conoce con el nombre de estanques de estabilización aerobio-anaerobios. Tales estanques tienen una capa aerobia superior y otra anaerobia inferior. En la práctica, el oxígeno se mantiene en la capa superior por la presencia de algas o por el uso de aireadores de superficie. Cuando se utilicen aireadores del tipo citado, las algas no son necesarias.

La comunidad biológica en la capa superior o aerobia es similar a la de un estanque aerobio, mientras que los microorganismos en la capa inferior del estanque son bacterias facultativas y anaerobias.

## **1.5 TECNOLOGIAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

A continuación se presentan las definiciones y principales características de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales.

### **1.5.1 PRETRATAMIENTO**

Es el conjunto de unidades que tienen como finalidad la eliminación de materiales que perjudican al sistema de conducción, bombeo o etapas subsecuentes del tratamiento y pueden ser: materia flotante, como artículos de plástico, madera, latas, ramas, etc. y sólidos inorgánicos en suspensión como arenas. Las unidades o dispositivos son:

#### **a) Rejillas o cribas de barras**

Tienen como objetivo la remoción de los materiales gruesos o en suspensión, los cuales pueden ser retirados mecánicamente o manualmente. Están formadas por barras separadas con claros libres entre 1 y 5 cm. comúnmente 2.5 cm. y colocadas en ángulos de 30 y 60° respecto a la horizontal. Los sólidos separados por estos dispositivos se eliminan enterrándolos o incinerándolos, o en algunos casos se reduce su tamaño con trituradores o desmenuzadores y se reintegran a las aguas residuales.

#### **b) Desarenador**

Las aguas residuales contienen por lo general sólidos inorgánicos como arena, cenizas y grava, a los que se denomina como arenas. La cantidad es variable y depende de muchos factores, pero principalmente si el alcantarillado es del tipo sanitario o combinado. Las arenas pueden dañar a los equipos mecánicos por abrasión y causar serias dificultades operatorias en los tanques de sedimentación y en la digestión de los lodos, por acumularse alrededor de las tuberías de entrada causando obstrucciones. Para poblaciones pequeñas y medias generalmente se diseñan en forma de canales, en los que se controlan la velocidad para propiciar la sedimentación de material inorgánico, manteniendo en suspensión los sólidos orgánicos.

### **1.5.2 TRATAMIENTO PRIMARIO**

Con este nombre se designa a los procesos cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos y puede ser por: sedimentación, filtración, flotación, floculación y precipitación. De estos procesos, el más utilizado y que mejor se ajusta a las características de las aguas residuales municipales es la sedimentación. Las unidades o dispositivos de tratamiento que utilizan el proceso de sedimentación son:

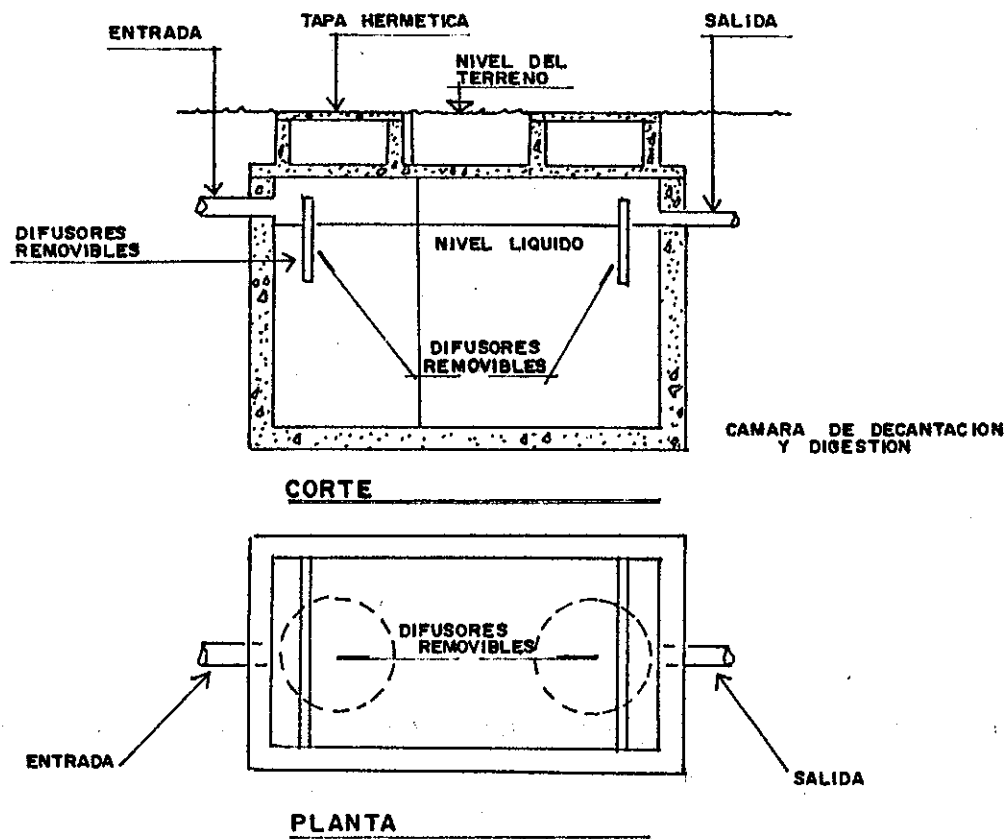
- Fosas Sépticas
- Tanques Imhoff
- Sedimentadores simples o primarios
- Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente, RAFA
- Coagulación o Floculación

Estas unidades se diseñan para disminuir el contenido de sólidos suspendidos y, de grasas y aceites en las aguas residuales.

### a) Fosas Sépticas

Son unidades utilizadas en donde no existe una red de alcantarillado sanitario, como pueden ser escuelas rurales, campos o zonas de recreo, hoteles y restaurantes campestres. En general se usan para tratar aguas residuales del tipo doméstico, en flujos no mayores al equivalente de 300 habitantes, es decir, no mayor a 0.5 litros por segundo.

Estos dispositivos combinan los procesos de sedimentación y de digestión anaerobia de lodos; usualmente se diseñan dos o más cámaras que operan en serie. En el primer compartimiento se efectúa la sedimentación, digestión de lodos y su almacenamiento. Debido a que en la descomposición anaerobia (digestión de lodos) se producen gases que suspenden a los sólidos sedimentados en la primera cámara, se requiere de una segunda cámara para mejorar el proceso, en donde se vuelven a sedimentar y almacenar, evitando que sean arrastrados con el efluente. Dicho efluente se encuentra en condiciones sépticas y aun lleva consigo un alto contenido de materia orgánica disuelta y suspendida, por lo que se requiere un tratamiento posterior, siendo el más empleado el de filtros de arena o el de filtros anaerobios.



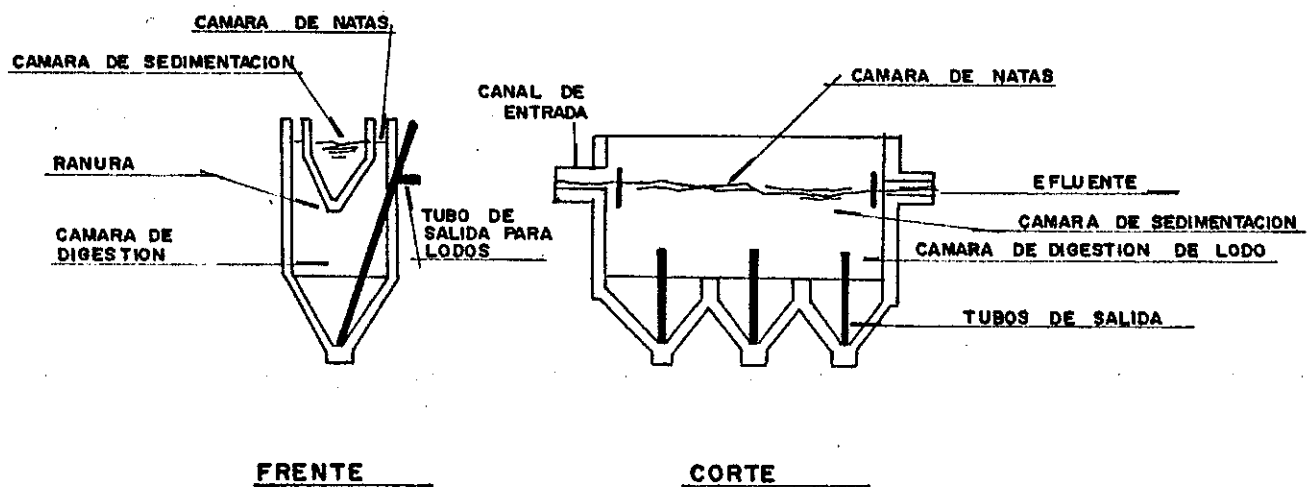
## b) Tanques Inhoff

Para comunidades de 5000 habitantes o menos, los tanques Inhoff ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad; tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas; sin embargo para su uso correcto es necesario que las aguas negras pasen por los procesos de cribado y remoción de arena. Son convenientes especialmente en climas calurosos, pues esto facilita la digestión de lodos. En la selección de esta unidad de tratamiento se debe considerar que los tanques Inhoff pueden producir olores desagradables.

El tanque Inhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimientos: 1) Cámara o canal de sedimentación; 2) la sección inferior que se conoce como cámara de digestión de lodos; 3) un área de ventilación y compartimiento de natas.

Durante la operación, las aguas residuales fluyen a través del canal o cámara sedimentadora, depositándose en el fondo de ésta los sólidos sedimentables, los cuales resbalan y pasan por una ranura que hay en el fondo, la cual hace de trampa que impide que los gases o partículas suspendidas de sólidos, producto de la digestión, interfieran en el proceso de la sedimentación. Los gases y partículas ascendentes son desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación.

Los lodos acumulados en la sección inferior se extraen periódicamente y se conducen a los lechos de secado, en donde se reduce por infiltración su aun alto contenido de agua, después de lo cual se retiran y dispone de ellos con algún fin determinado, que bien puede ser para mejoramiento de los suelos. El tanque Inhoff elimina del 40 al 50% de sólidos suspendidos y reduce la DBO de 25 a 35%.



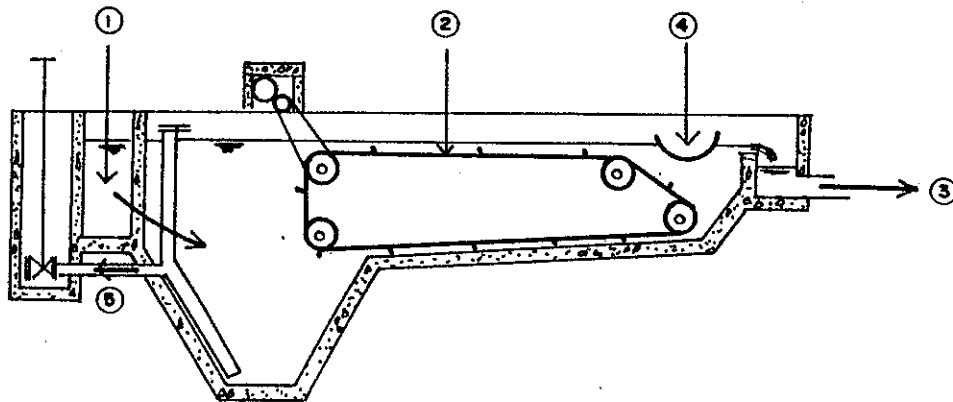
### c) Sedimentadores Primarios

A diferencia de los tanques Inhoff, y de las fosas sépticas en estas unidades no se tratan los lodos, por lo que generalmente se utilizan como una primera etapa de un tratamiento primario.

Se puede recomendar su construcción siempre y cuando se tengan planes para aumentar el tratamiento a un nivel secundario, en un futuro cercano; esta observación se basa en las dificultades que presenta en las plantas el manejo de los lodos ya sea para su digestión u otro tipo de tratamiento.

Estas unidades tienen como función la reducción de los sólidos suspendidos, grasas y aceites de las aguas residuales. Las eficiencias esperadas son del 55% en sólidos y se obtienen concentraciones en grasas y aceites inferiores a 30 mg/l. Pueden ser tanques rectangulares o circulares, estos últimos son los más frecuentemente utilizados en plantas relativamente pequeñas, para poblaciones menores a 100,000 habitantes.

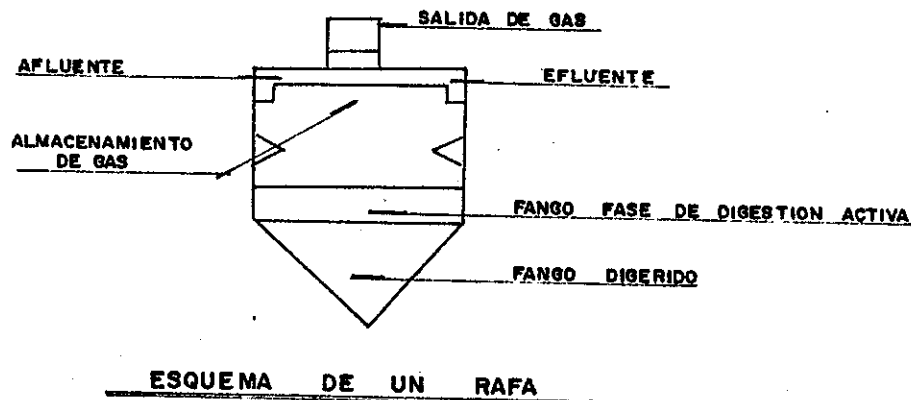
Los sólidos depositados en el fondo son recolectados por rastras giratorias que los conducen a una tolva, de donde se extraen para su tratamiento y disposición. Las grasas y aceites que flotan en la superficie son recolectados mediante las propias rastras del mecanismo de recolección de los lodos y removidas por un dispositivo de recolección superficial. Por lo general estos dispositivos requieren de equipo electromecánico para mover las rastras que colectan los sólidos y el brazo desnatador que remueve las grasas y aceites de la superficie.



- ① LLEGADA DE AGUA BRUTA
- ② CADENA RASCADORA
- ③ SALIDA DE AGUAS SEDIMENTADAS
- ④ RECOGIDA DE FLOTANTES
- ⑤ EVACUACION DE FANGOS

#### d) Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente, RAFA

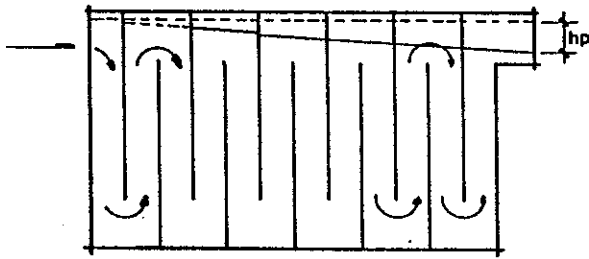
Su gran ventaja consiste en que no requiere ningún tipo de soporte para retener la biomasa, lo que implica un ahorro importante. Su principio de funcionamiento se basa en la buena sedimentabilidad de la biomasa producida dentro del reactor, la cual se aglomera en forma de granos hasta de 5 mm de diámetro. Estos granos cuentan además con una actividad metanogénica muy elevada, lo que explica los buenos resultados del proceso. El reactor es de flujo ascendente y en la parte superior cuenta con un sistema de separación gas-líquido-sólido, el cual evita la salida de los sólidos suspendidos en el efluente y favorece la evacuación del gas y la decantación de los floculos que eventualmente llegan a la parte superior del reactor. Un punto importante en su diseño es la distribución de las entradas del agua residual, ya que una mala repartición puede provocar que ciertas zonas de la cama de lodos no sean alimentadas, desperdiciando así su actividad. Esto es particularmente cierto en las aguas residuales municipales, pues la limitada materia orgánica presente forma solo pequeñas cantidades de biogas y por tanto la agitación del lecho, provocada por las burbujas se ve reducida. El punto débil del proceso consiste en la lentitud del arranque del reactor (generalmente 6 meses); por otro lado, en desagües diluidos como son las aguas residuales domésticas, las variables críticas de diseño son las hidráulicas (velocidad ascensional, velocidad de paso a través del separador de fases, dispositivos de entrada y salida) y no así la carga orgánica. En el caso de desagües concentrados (tipo agro-industriales) el dimensionamiento es gobernado por las cargas orgánicas, pudiendo llegar estas hasta 30 kg.DQO/m<sup>3</sup>.día.



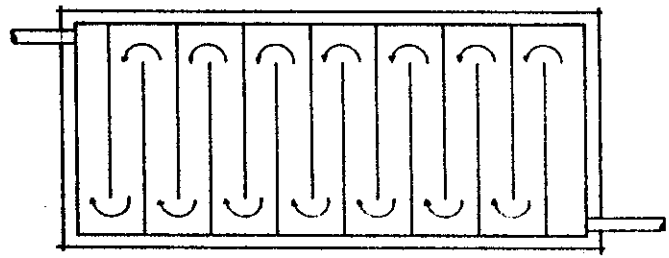
#### e) Coagulación o Floculación

Es el proceso por el cual se ayudan a las pequeñas partículas (coloides) suspendidas en el agua a sedimentar mediante la adición de compuestos químicos que inducen a las partículas pequeñas (coloides) a formar partículas grandes (floculos) de mayor peso, para su posterior sedimentación. A las sustancias químicas utilizadas en este proceso se les llama coagulantes, de los cuales los más utilizados son las sales de aluminio o hierro, tales como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico, y sulfato férrico.

Para la mezcla de los reactivos se utiliza a veces únicamente la turbulencia creada por un vertedero, pero conviene disponer de un sistema que permita esta mezcla rápida.

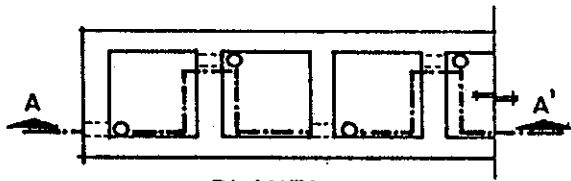


VERTICAL

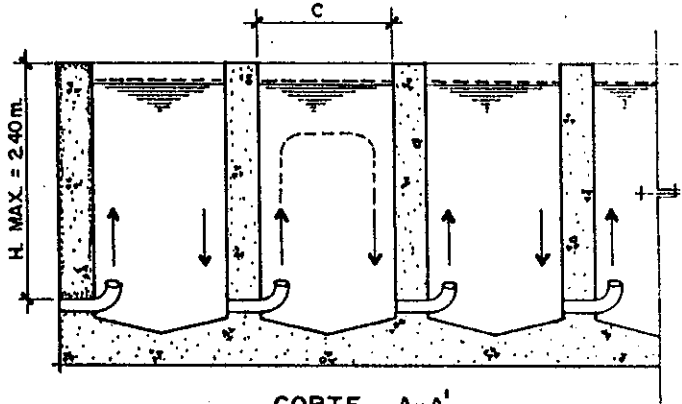


HORIZONTAL

FLOCULADORES DE PANTALLAS

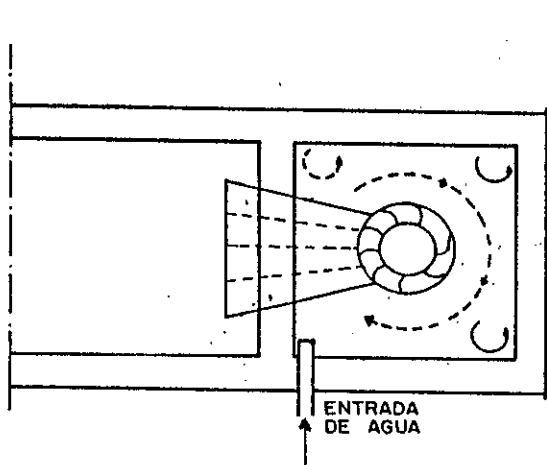


PLANTA

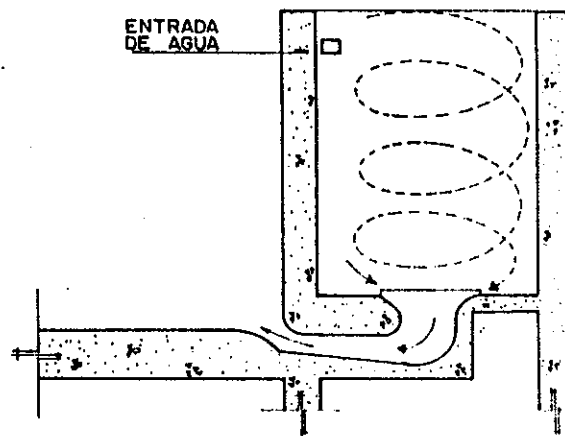


CORTE A-A'

FLOCULADOR VERTICAL TIPO ALABAMA



FLOCULADOR HELICOIDAL





### 1.5.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO

Este termino comúnmente se utiliza para los sistemas de tratamiento del tipo biológico en los cuales se aprovecha la acción de microorganismos presentes en las aguas residuales.

La presencia o ausencia de oxígeno disuelto en el agua residual, define dos grandes grupos o procesos de actividad biológica, los aerobios (en presencia de oxígeno) y los anaerobios (en ausencia de oxígeno).

En el tratamiento secundario de aguas residuales municipales por lo general se utilizan los procesos aerobios. Existen un gran numero de variantes en estos procesos y dependen del contenido de organismos en relación a la materia orgánica presente, de si los microorganismos se encuentran suspendidos o fijos, de la forma y cantidad de oxígeno suministrado, etc.

Dependiendo de la forma en que estén soportados los microorganismos existen dos grandes tipos de procesos.

Con microorganismos fijos:

Filtro anaerobio, Reactor tubular de película fija, Filtros percoladores (rociadores) y Biodiscos.

Con microorganismos suspendidos:

Lagunas aerobias, Lagunas anaerobias, Lagunas facultativas, Lagunas aireadas, Lodos activados convencionales, Aeración extendida y Zanjas de oxidación.

#### a) Filtro anaerobio

Esencialmente consiste en un reactor de flujo ascendente empacado con soportes plásticos o con piedras de 3 a 4 cm de diámetro promedio. El coeficiente de vacío debe ser grande para evitar el taponamiento, lo que en algunos casos se traduce en un área específica inferior a  $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Debido a la distribución desordenada del soporte, las purgas de lodo no son efectivas, lo que provoca una acumulación lenta pero constante de biomasa que con el tiempo puede crear problemas de taponamiento. Este reactor puede admitir cargas hasta de  $20 \text{ Kg.DQO}/\text{m}^3 \cdot \text{día}$ .

#### b) Reactor tubular de película fija

El soporte utilizado es este caso, consiste de tubos o placas dispuestas de tal forma que se crean canales verticales. El material puede ser de cerámica, PVC, poliester, etc.. El ordenamiento del soporte da como resultado coeficientes de vacío importantes con buenas relaciones área/volumen ( $> 150 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ). Las cargas aplicadas pueden llegar hasta  $30 \text{ Kg.DQO}/\text{m}^3 \cdot \text{día}$ .

### **c) Filtros percoladores (o rociadores)**

El mecanismo principal de remoción de la materia orgánica de este sistema no es la filtración sino la adsorción y asimilación biológica en el medio de soporte. Generalmente, no requieren recirculación, a diferencia del sistema de lodos activados, donde ésta es determinante para mantener a los microorganismos en el licor mezclado.

Una vez que el filtro se encuentra operando, la superficie del medio comienza a cubrirse con una sustancia viscosa y gelatinosa conteniendo bacterias y otro tipo de microorganismos. El efluente de la sedimentación primaria es distribuido uniformemente en el medio de soporte del filtro a través de un sistema distribuidor de flujo. Al cabo de un tiempo, comienza el crecimiento de organismos anaerobios y facultativos que junto con los organismos aerobios forman el mecanismo básico para la remoción de la materia orgánica.

El efluente del filtro percolador deberá pasar a través de un clarificador secundario para colectar la biomasa desprendida. La sedimentación primaria es necesaria antes de los filtros con medio de roca para minimizar los problemas de obstrucción. Pueden clasificarse en filtros en función de las cargas hidráulica y orgánicas aplicadas como de baja, media y alta tasa. Los filtros de media tasa o estándar se diseñan con cargas hidráulicas de 38000 a 94000 m<sup>3</sup>/ha.día.

### **d) Biodiscos (filtros rotativos)**

Actualmente se utilizan placas de plástico corrugado y otros materiales en vez de los de madera que se utilizaban al principio. Cuando el proceso inicia su operación, los microorganismos del agua residual influente se adhieren a la superficie del material plástico y se desarrollan hasta que toda esta área quede cubierta con una capa o película microbiana.

Al girar los discos, la película biológica adherida a éstos entra en contacto, alternadamente, con el agua residual que está en el tanque y con el oxígeno atmosférico. Al salir del agua del tanque, los discos arrastran una capa líquida sobre la superficie de la película biológica, lo cual permite la oxigenación del agua y los microorganismos. Debido a la sucesión de inmersiones y emersiones, la capa líquida se renueva constantemente.

### **e) Lagunas Anaerobias**

Generalmente se usan como una primera depuración o pretratamiento, se puede considerar como un digestor, ya que se le aplican cantidades de materia orgánica o carga orgánica por unidad de volumen de manera tal que prevalezcan las condiciones anaerobias, es decir ausencia de oxígeno, en tiempos de retención que varían de 1 a 10 días se obtienen eficiencias de remoción de DBO de 20 a 60 % respectivamente. La eficiencia decrece notablemente con valores de temperatura inferiores a 15°C. Una desventaja es la producción de malos olores. Generalmente son estanques profundos, de 3 a 4 metros de profundidad.

#### **f) Lagunas Aerobias**

Como su nombre lo indica son lagunas que operan en presencia del aire, son de poca profundidad, no más de 80 cm., lo que propicia la proliferación de algas, que suministran una buena parte de oxígeno necesario. Se logran eficiencias de remoción de DBO de 65 a 75 % . Su desventaja principal es la cantidad de terreno que requieren.

#### **g) Lagunas Facultativas**

Se puede decir que es una combinación de las dos anteriores. Se diseñan con una profundidad de 1.5 a 2.0 m. y una cantidad de materia orgánica o carga orgánica por unidad de volumen. Este es el tipo de lagunas más usado, por su flexibilidad; requieren menos terreno que las aerobias y no producen los posibles olores de las anaerobias. Como todos los procesos biológicos, el factor principal que afecta su eficiencia es la temperatura. Las eficiencias en estas lagunas van desde 60 hasta 85 % en remoción de DBO. La eficiencia en remoción de bacterias, especialmente del grupo coliforme, puede alcanzar valores del 99.99%, debido a los tiempos de retención hidráulicos tan prolongados.

#### **h) Lagunas Alreadas**

En estas lagunas el oxígeno es suministrado por equipos mecánicos de aireación y también por la actividad fotosintética de las algas y por la transferencia de oxígeno de la intserface aire-agua. Este tipo de lagunas es usado para aumentar la capacidad de las lagunas facultativas sobrecargadas o cuando la disponibilidad de terreno es reducida, generalmente se diseñan con profundidades de 2 a 6 metros y tiempos de retención de 3 a 10 días. La eficiencia de remoción de DBO son del orden de 80 al 90 % .

#### **i) Lodos Activados**

Lodo activado es un floc biológico producido en las aguas residuales previamente decantadas por el crecimiento de bacterias u otros organismos, en la presencia del oxígeno disuelto en el agua y acumulado en concentración suficiente.

Los componentes básicos de una planta de lodos activados son:

- Sedimentador primario
- Tanque de aireación
- Sedimentador secundario

Las aguas residuales crudas, después de una sedimentación primaria, se mezclan con los lodos en recirculación y se introducen al tanque de aireación, en donde permanecen por espacio de 3 a 6 horas.

A la mezcla de aguas residuales y lodos de recirculación, dentro del tanque de aireación, se le conoce como licor mezclado.

#### **j) Aireación Extendida**

Es una modificación del proceso de lodos activados en el cual se mantiene una edad de lodos en un valor relativamente alto, dándole el tiempo para que los lodos logren su estabilización, como consecuencia su tiempo de retención en los tanques es mayor (16 a 24 horas).

Las eficiencias que se obtienen en remoción de DBO son superiores al 90 % y se puede considerar como un tratamiento secundario.

#### **k) Zanjas de Oxidación**

Es un proceso de lodos activados en su variante de aireación extendida. La diferencia radica en su configuración, que fue diseñada para facilitar su procedimiento constructivo y disminuir costos de inversión y operación y mantenimiento. Se emplea para poblaciones menores a 30,000 habitantes.

Consiste en zanjas ovaladas cerradas, con sección transversal trapezoidal, tirante de agua entre 1.0 y 1.8 m. Estas zanjas se implementan con equipos mecánicos, rotores que imprimen movimiento al agua para mantener los sólidos en suspensión, mezclar y alimentar el oxígeno necesario para mantener condiciones aerobias.

Tiene un tiempo de retención hidráulico entre 16 y 24 horas y una retención de lodos superior a 30 días. Las eficiencias en remoción de DBO son superiores al 90 %.

### **1.5.4 DESINFECCION**

Cuando se descargan aguas residuales crudas o tratadas en cuerpos de agua que van a utilizarse, o que pueden ser utilizados como fuentes de abastecimiento público, o para propósitos recreativos, se requiere un tratamiento suplementario para destruir los organismos patógenos, a fin de que sean mínimos los peligros para la salud debido a la contaminación de dichas aguas.

Existen varios métodos de desinfección:

- Físicos (filtración, ebullición, rayos ultravioleta)
- Químicos (aplicación de cloro, bromo, yodo, ozono iones plata, etc.)

#### **a) Cloración**

El cloro es uno de los compuestos más importantes que existen para la desinfección del agua, dado su amplio uso, además se utiliza para:

- Eliminación de olores y sabores
- Decolorar
- Evita formación de algas
- Ayuda a la oxidación de materia orgánica
- Ayuda a eliminar las espumas de los decantadores
- Mejora la eficiencia de la decantación primaria

Se requiere un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos, al cabo del cual la dosis de cloro residual debe ser de 0.5 a 1.0 mg/l.

### **1.5.5 TRATAMIENTO TERCIARIO**

El tratamiento terciario es el grado de tratamiento necesario para alcanzar una calidad físico-química-biológica adecuada para el uso al que se destina el agua residual.

Para el caso de las aguas municipales, generalmente no se utiliza el tratamiento terciario, a menos que el reuso de las aguas tratadas tenga alguna aplicación en la industria, y en algunos casos de acuíferos.

## CAPITULO 2

# LAGUNAS DE ESTABILIZACION

### 2.1 DEFINICION DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION

Una laguna de estabilización de aguas residuales es una estructura simple para embalsar agua, de poca profundidad (1-4 m) y con periodos de retención de magnitud considerable (de uno a cuarenta días).

Cuando las aguas residuales son descargadas en lagunas de estabilización, se realiza en las mismas, en forma espontanea, un proceso conocido con el nombre de auto depuración o estabilización natural, en el que ocurren fenómenos de tipo físico, químico, bioquímico y biológico.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de las aguas descargadas en una laguna de estabilización, y del efluente de las mismas, es el parámetro que más se ha utilizado para evaluar condiciones de trabajo de las lagunas de estabilización y su comportamiento.

Cuando la carga orgánica aplicada a las lagunas es baja ( entre 50 y 350 kg de DBO<sub>5</sub>/ha/día a alturas moderadas y temperaturas entre 10 y 30 grados centígrados), el estrato superior de las lagunas se suele llenar de algas microscópicas, que en presencia de la luz solar producen grandes cantidades de oxígeno, haciendo que el agua llegue a estar sobresaturada de oxígeno disuelto (OD). El estrato inferior de estas lagunas suele estar en condiciones anaeróbicas debido a que la penetración de la luz solar es muy limitada (de 5 a 15 cm). Estas lagunas reciben el nombre de **lagunas facultativas**.

Cuando la carga orgánica aumenta mucho, la DBO excede la profundidad de oxígeno de las algas y las lagunas se tornan anaeróbicas. No existe un límite exacto al cual se pueda garantizar si una laguna va a trabajar como facultativa o como anaeróbica. Para temperaturas entre 15 y 30°C, hay una zona de transición entre los 300 y 600 kg de DBO (5 días - 20°C); pudiéndose afirmar que para alturas moderadas se tienen lagunas anaeróbicas para cargas orgánicas superiores a los 600 kg de DBO/ha/día.

El proceso de estabilización que se lleva a cabo en las lagunas facultativas es muy diferente del que se lleva a cabo en las lagunas anaeróbicas. Sin embargo, ambos son útiles y efectivos en la estabilización de las aguas residuales. La estabilización de la materia orgánica se lleva a cabo a través de la acción de organismos aeróbicos cuando hay oxígeno disuelto en el agua; y de organismos anerobicos cuando en la misma no hay oxígeno disuelto, estos últimos aprovechan el oxígeno presente en las moléculas de la materia que están degradando. Existen organismos con capacidad de adaptación a ambos ambientes, los cuales reciben el nombre de facultativos.

El proceso aeróbico se caracteriza porque la descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo en presencia de oxígeno, produciéndose compuestos inorgánicos que sirven de nutrientes a las algas, las cuales a su vez producen más oxígeno que facilita la actividad de las bacterias aeróbicas. El proceso de desdoblamiento de la materia orgánica se lleva a cabo con intervención de enzimas producidas por las bacterias en sus procesos vitales.

A su vez, las algas logran sintetizar materia orgánica que se incorpora a su propio protoplasma, como organismos autotróficos que son. Este proceso, que se lleva a cabo en presencia de la luz solar, recibe el nombre de fotosíntesis.

La materia orgánica muerta (putrescible) es desdoblada en compuestos inorgánicos por las bacterias. Estos compuestos inorgánicos son aprovechados por las algas para sintetizar materia orgánica viva (no putrescible). En otras palabras, hay una reacción que produce el oxígeno que se consume y, como resultado final, se tiene que materia orgánica muerta es transformada en materia orgánica viva que pasa a formar parte del protoplasma de las algas.

Se han construido lagunas de poca profundidad (15 a 20 cm) que mantienen oxígeno disuelto en todo el tirante de agua; se llaman lagunas aeróbicas y han caído en desuso por su baja eficiencia y difícil operación.

Las reacciones anaeróbicas son más lentas y los productos de las mismas originan malos olores. En el proceso anaeróbico las bacterias suelen aprovechar parte de los nutrientes inorgánicos en la fabricación de su propio protoplasma celular, cosa que también suele suceder en el proceso aeróbico. Sin embargo, llama la atención el hecho de que en casos el resultado final es una disminución notable de bacterias, lo cual ocurre como consecuencia del agotamiento de los nutrientes y de otros fenómenos, aún no muy claramente comprendidos, en los que juegan un papel muy importante el período de retención, la temperatura y la luz solar.

## **2.2 OBJETIVO DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION**

Las lagunas de estabilización se construyen para protección epidemiológica, a través de la disminución de organismos patógenos presentes en las aguas residuales y dificultando la transmisión de los mismos; protección ecológica, disminuyendo la carga orgánica (DBO) de las aguas residuales, lográndose de esta manera que el nivel de oxígeno disuelto (OD) en estos cuerpos receptores se vea menos comprometido, con el consiguiente beneficio para los peces y demás organismos acuáticos; reuso directo del agua servida tratada en la agricultura, evitando los riesgos e inconvenientes del reuso de aguas servidas rudas, y para la piscicultura. En los dos últimos usos interesa tanto el reuso del agua tratada como el aprovechamiento de los nutrientes presentes en el efluente de las lagunas o en las lagunas mismas.

Los objetivos anteriormente mencionados son sumamente interesantes desde el punto de vista de la salud pública. Los cuales contribuyen a la disminución de las enfermedades, entéricas y del parasitismo, así como a la conservación de los cuerpos de agua para la recreación, el riego, la pesca, tanto comercial como deportiva; pero sobre todo para satisfacer las necesidades de agua potable para consumo humano, industrial y comercial.

La cría de peces en lagunas tiene la ventaja de que la extracción o cosecha de los mismos implica disminución de la biomasa que llega al cuerpo receptor, con el consiguiente beneficio ecológico.

Sin embargo, siempre se deberá tener en cuenta que el reuso, en actividades agrícolas, de aguas servidas tratadas en lagunas, tiene ciertos riesgos que obligan al control y protección de la salud de los trabajadores involucrados en estas actividades; a una manipulación y manejo higiénico de los productos, y a la evaluación continua de la presencia de tóxicos o gérmenes patógenos en los productos.

### **2.3 LAGUNAS DE ESTABILIZACION EN SERIE Y EN PARALELO**

En los primeros años del desarrollo de las lagunas de estabilización, se ha discutido mucho si se debían usar las mismas para tratar aguas servidas crudas, o si se debía hacer un tratamiento previo, tal como se acostumbra en las plantas convencionales: rejillas, desarenadores y sedimentadores primarios.

La observación de sistemas de tratamiento con lagunas que reciben aguas servidas crudas y de otros que utilizan rejillas, desarenadores o sedimentadores, indica que es mejor diseñar las lagunas para recibir aguas servidas crudas.

En cuanto a las rejillas, se ha observado que el viento acomoda los flotantes en una esquina de la laguna de donde se pueden remover con facilidad. Esta operación hay que hacerla aunque existan rejillas, pues éstas no remueven los flotantes, además de que hay otros que se suelen formar en la misma laguna. Por otra parte, las rejillas tienen la desventaja de causar obstrucciones cuando la operación de las mismas no es eficiente.

Los desarenadores y los sedimentadores no se recomiendan por cuanto es más fácil aumentar las frecuencias de limpieza de las lagunas, que la operación diaria de desarenadores y sedimentadores. No se justifica pasar lodos de un sedimentador primario a un digestor y a una cama de secado, cuando la laguna en sí es un excelente digestor. Además, en un contrasentido construir estructuras con períodos de retención de minutos y horas, previamente a un reactor cuyo período de retención se mide en días.

Con el tiempo se ha observado las ventajas de utilizar baterías de varias lagunas, con lo cual se logran algunos beneficios colocándolas en serie y paralelo.

#### **2.3.1 LAGUNAS EN SERIE**

Se ha podido apreciar una mejora importante en la calidad bacteriológica del effluente al colocar varias lagunas facultativas en serie. Esto hace que en los proyectos donde se requiere mejorar en alto grado la calidad bacteriológica, se usen lagunas terciarias, cuaternarias y aun de grado mayor.



El uso de una laguna anaeróbica primaria (y en algunos casos de una secundaria), como tratamiento previo a las lagunas facultativas, logra algunos beneficios importantes entre los que caben destacar, economía de área en proyecto y eliminación de algunos parásitos y protozoarios que logran sobrevivir en las lagunas facultativas.

### **2.3.2 LAGUNAS EN PARALELO**

El uso de lagunas en paralelo no mejora la calidad del efluente, pero en cambio, ofrece muchas ventajas desde el punto de vista constructivo y operativo. Un buen diseño debe tener por lo menos dos lagunas primarias en paralelo. Las lagunas primarias acumulan una gran cantidad de lodos por lo que requieren ser limpiadas periódicamente.

Las anaeróbicas deben ser limpiadas con más frecuencia debido a su menor período de retención. El contar con por lo menos dos lagunas, permite sobre cargar una mientras se lleva a cabo la limpieza de la otra.

Cuando el terreno es muy quebrado y no se requiere hacer lagunas alargadas, el uso de lagunas en paralelo a diferentes niveles, permite lograr economía considerable en el movimiento de tierras.

## **2.4 ACCESORIOS EN LAGUNAS DE ESTABILIZACION**

### **2.4.1 USO DE EQUIPO DE BOMBEO PARA RECIRCULACION DEL EFLUENTE**

Al igual que en las plantas para tratamiento de aguas residuales de tipo convencional, en las lagunas de estabilización se ha probado la recirculación del efluente con buenos resultados. Esta recirculación se puede hacer entre lagunas o en una sola laguna.

Aunque se mejora el rendimiento, todavía no existen modelos confiables que permitan estimar el aumento en rendimiento.

### **2.4.2 USO DE AERACION MECANICA**

Se ha utilizado con muy buenos resultados en lugares donde el lugar es caro o escaso, debido a que disminuye los requerimiento de área. La aeración mecánica se realiza por medio de aeradores superficiales y por medio de compresores, tuberías y boquillas difusoras.

### **2.4.3 USO DE CLORACION FINAL EN EL EFLUENTE**

Aunque en algunos lugares de los Estados Unidos se hace cloración final del efluente de las lagunas de estabilización para eliminar los patógenos remanentes, tal práctica no se recomienda en los países en desarrollo por su alto costo. Además la alta concentración de materia orgánica en lagunas de estabilización obligaría a usar altas dosis de cloro, además el costo de filtración del efluente y cloración sería prohibitivo. Clorar efluentes sin filtrar sería absurdo porque implicaría provocar el cultivo de algas para luego matarlas con cloro.

Por otra parte, cada día hay más reservas sobre si es adecuada la práctica de clorar aguas con alto contenido de materia orgánica, la cual da origen a la formación de compuestos órganoclorados cuyas propiedades cancerígenas han sido comprobadas.

## **2.5 COMPONENTES HIDRAULICOS EN LAGUNAS DE ESTABILIZACION**

Durante los últimos años, en los países en vías de desarrollo se han venido construyendo sistemas de tratamiento de aguas residuales principalmente del tipo laguna de estabilización.

Hoy en día, el dimensionamiento de las lagunas de estabilización puede efectuarse aplicando diferentes modelos que se clasifican en ecuaciones racionales, no lineales y empíricas.

Sin embargo, el éxito del funcionamiento de las lagunas de estabilización descansa en el adecuado dimensionamiento hidráulico de todos los componentes que la conforman, y que van desde el momento mismo de ingreso de las aguas residuales a la planta, hasta su salida.

### **2.5.1 Rejas**

Las rejas tienen por misión remover todas aquellas materias sólidas de dimensión mayor al espaciamiento existente entre cada uno de los componentes de la reja, con la finalidad de proteger las instalaciones constituyentes del sistema de tratamiento o para impedir la presencia de materia flotante indeseable en la fuente receptora o en la superficie líquida de los reactores.

Están conformadas esencialmente por una serie de perfiles metálicos igualmente espaciados e instalados transversalmente en el canal colector, formando un determinado ángulo con la horizontal.

Las rejas son instaladas a continuación de los emisores que hacen su ingreso a las cámaras de bombeo, planta de tratamiento o desarenadores. La inclinación debe ser menor a los 60° con respecto a la horizontal.

Las rejas se acostumbran a clasificar de acuerdo a la magnitud del espaciamiento de los elementos que la conforman de la siguiente manera.

#### **Rejas Gruesas**

El espaciamiento entre los elementos es mayor a los 5 cm. y se estima que el volumen de sólidos gruesos removidos está comprendido entre 2 y 5 litros por cada 1000 m<sup>3</sup> de aguas residuales.

#### **Rejas Medianas**

La remoción de sólidos de este tipo de rejas es más significativa que la anterior, llegando hasta los 20 litros por cada 1000 m<sup>3</sup> de aguas cribadas, y la separación está comprendida entre los 2 y 5 cm.

## Rejas Finas o Rejillas

Frecuentemente el espaciamiento es del orden de 1 a 2 cm e interceptan alrededor de 50 litros de residuos por cada 1000 m<sup>3</sup>. La pérdida de carga para este tipo de estructura es muy significativa por lo que se tiende en muchos casos a diseñarlas con limpieza mecánica.

### 2.5.2 Desarenadores

Los desarenadores se diseñan para la remoción selectiva de todas aquellas partículas inertes, excluyendo a los sólidos putrecibles, que ocasionan molestias durante el manipuleo de las arenas y que tienden, además, a convertir al desarenador en una especie de tanque séptico.

Las estructuras de control hidráulico implican el diseño de adecuadas áreas transversales que permitan mantener una conveniente velocidad de desplazamiento de la masa de agua para lo cual se requiere, idealmente, un valor constante en la relación caudal-área (Q/A). Este efecto se logra mediante el empleo de controladores de flujo como el vertedero de flujo proporcional o canales tipo Parshall.

La mayor parte de las cámaras desarenadoras son construidas de mediana profundidad, alargadas y capaces de remover partículas de gravedad específica de 2.65 y de diámetro de arenas mayor a 0.2 mm. El tirante de agua en el canal está normalmente gobernado por el caudal que ingresa a la planta.

La remoción selectiva de la materia inerte se hace muy complicada por las continuas fluctuaciones del caudal y, muy especialmente, cuando se presentan fluctuaciones a causa de las lluvias.

Los principios más comúnmente usados son:

- a) Ajuste de la cámara desarenadora para diferentes flujos de manera que, cuando se presenten mayores gastos, entre a trabajar un mayor número de cámaras desarenadoras paralelas.
- b) Burbujeo de aire dentro de la recámara para propiciar la remoción de la materia orgánica.
- c) Sedimentación selectiva de las partículas deseables por medios hidráulicos más que por rastrilleo neumático o resuspensión de las partículas indeseables.

### 2.5.3 Medición y Registro de Caudales

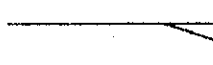

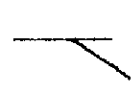
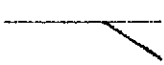

La medición de caudal constituye una de las actividades importantes en el campo de la hidráulica aplicada, habiéndose desarrollado innumerables dispositivos y métodos de estimación de caudal, es por esto que su conocimiento lleva a una adecuada selección y ventajosa aplicación.

Las aguas residuales crudas que poseen material fácilmente sedimentable tienden a depositarse en el fondo de los canales de conducción, cuando decrece su velocidad, por lo que las estructuras de medición tipo vertedero están expuestas a la alteración de geometría de fondo y, por lo consiguiente, a la inexactitud en la estimación de caudales. Las estructuras de medición de régimen crítico, tales como el Parshall y el Bowlus-Palmer, tienen la característica de poseer un simple estrangulamiento en la sección transversal que permite el incremento de la velocidad en el área de medición y, por lo tanto, no están expuestas como las anteriores a interferencias en la estimación del caudal. Por estas razones los medidores del tipo régimen crítico son ideales para ser usados en la estimación de caudales de aguas residuales crudas o con alto contenido de sólidos sedimentables y los tipo vertedero para aguas residuales tratadas.

Los medidores de caudal en canales se pueden clasificar en:

### Vertederos

Pueden ser definidos como simples aberturas sobre las cuales un liquido fluye y son utilizados intensiva y satisfactoriamente en la medición de pequeños caudales de aguas relativamente limpias. Se presentan en las mas variadas formas y disposiciones. Muchos son los factores que pueden servir de base para su clasificación:

- Forma  simple  
compuesta
- Espesor de paredes  gruesa  $e > 0.66H$   
delgada
- Forma de lámina  libre  
alterada
- Escotadura  con contracciones  
sin contracciones
- Perfil de cresta  libre  
ahogada

### Régimen Crítico

Los dispositivos más comunes son el medidor Parshall y el Bowlus-Palmer.

### Misceláneos

Además existen otros métodos factibles de aplicar como:

- Tubo pitot
- Medición de la velocidad superficial y profundidad del canal
- Medición de pendiente y profundidad

#### 2.5.4 Canales de Conducción:

Los conductos abiertos son ampliamente utilizados en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, tanto para conducir líquidos crudos a los diferentes procesos de tratamiento, como para llevar líquidos tratados al punto de disposición final.

El cálculo de canales se realiza teniendo en cuenta la calidad de las aguas residuales a conducir. De esta manera, líquidos crudos que hacen su ingreso al sistema deben tener velocidad igual a la existente en el último tramo de la tubería aductora que, por lo general, es igual o mayor a los 0.60 m/s. La conservación de velocidades de esta magnitud impide la deposición del material sedimentable que acostumbran atraer las aguas de alcantarillado en el fondo de las canaletas de conducción.

Para aguas libres de arenas, la velocidad de conducción debe ser, como mínimo, ligeramente mayor a la velocidad promedio presente en la estructura misma del desarenador, la cual generalmente es del orden de los 0.30 m/s. En el caso de aguas sedimentadas y/o tratadas, en las que prácticamente no existe material sedimentable, las limitaciones de velocidad no tienen importancia por lo que debe optarse por diseños de canales con perímetro mojado con los cuales es posible obtener el máximo de economía en cuanto a obras civiles.

#### 2.5.5 Repartidores de Flujo

En sistemas de tratamiento de aguas residuales de extensión moderada, especialmente en los del tipo de laguna de estabilización con varias celdas, se hace necesario repartir las aguas equitativamente a las áreas superficiales. Las lagunas de estabilización al entrar en funcionamiento, toman un tiempo para alcanzar su estado de maduración y, si las cargas aplicadas y las condiciones ambientales se mantienen más o menos uniformes, prontamente lograrán equilibrio con el medio ambiente.

Siendo la temperatura una característica variable no controlable y de variación lenta, es de esperar que el equilibrio sufra un desplazamiento amortiguado de acuerdo a las estaciones climáticas. Sin embargo, si a esto se le suma la variación de las tasas de aplicación a causa de la modificación continua del caudal por una deficiente distribución, prácticamente no se logrará alcanzar el equilibrio y la laguna comenzará a operar deficientemente.

Por lo expuesto, se nota la importancia de diseñar sistemas repartidores de caudal que permitan la aplicación diaria de las cargas orgánicas proporcional al área de lagunas sin necesidad de la participación de los operadores.

## Métodos Utilizados

Las estructuras repartidoras de flujo deben facilitar la distribución de los caudales proporcionalmente a las áreas de las lagunas. De este modo se garantiza que la carga orgánica total del día, se distribuya ponderadamente a cada celda.

Entre las estructuras utilizadas y que cumplen con este principio pueden enumerarse las siguientes:

### 1. Vertedero con contracciones

Consiste en colocar vertederos rectangulares de escotadura proporcional a las áreas de las lagunas a servir

### 2. Vertedero sumergido

El vertedero es sumergido y la escotadura total de igual dimensión al ancho del canal por lo que el cortador de flujo debe ser ubicado en posición correcta para captar la proporción deseada de masa de agua.

### 3. Vertedero circular

Es el sistema más exacto para repartir las aguas y consta de dos elementos principales. Uno, compuesto por un tubo de capacidad suficiente para conducir el máximo caudal y, que permita velocidades que impidan la deposición de arenas con el caudal mínimo. La otra pieza es un anillo periférico en donde están ubicados los deflectores para cada una de las lagunas. La velocidad de aproximación al anillo periférico debe ser regulada con la finalidad de procurar la distribución de la masa de agua lo más uniformemente posible.

## 2.5.6 Estructuras de Entrada, Interconexión y Salida

Las estructuras de entrada deben diseñarse y construirse para permitir el ingreso y distribución eficiente de las aguas residuales a las celdas de tratamiento.

En los casos de las tuberías que ingresan a las lagunas de estabilización, es necesario proteger la base contra la erosión. A menudo se hace necesario instalar una pequeña losa de hormigón o piedras grandes debajo de la tubería de descarga para proteger el lecho contra la erosión.

En casos de aguas residuales con contenido elevado de arenas, es preferible que el ingreso se realice por encima del nivel de las aguas. En cambio cuando están exentas de partículas sedimentables, el ingreso puede ser sumergido y con descarga hacia arriba.

Algunos autores indican que las descargas cerca al dique contribuyen a la presencia de malos olores y, si éstos a su vez son superficiales, el material flotante será más persistente en el espejo de agua. Por esta razón, recomiendan que la salida de las aguas se ubique a un tercio de la longitud del lado mayor de la laguna o a 15 metros como mínimo. En el caso de lagunas anaeróbicas es recomendable que la tubería de ingreso de las aguas residuales se ubique al centro del reactor con la descarga a uno o dos metros por encima del fondo.

Las estructuras de ingreso pueden estar dotadas de sistemas de medición de caudal o de pequeñas recamaras desarenadoras, pero esto último no es muy recomendable porque requieren mantenimiento seguido, el que muchas veces no se da en estos tipos de instalaciones. Para este fin es preferible construir un foso de cierta profundidad en la zona de descarga.

Para el caso de interconexión de lagunas que están funcionando en paralelo y que en un momento determinado, bien de una investigación o por asuntos operativos, convenga aislarlas, el dimensionamiento de los conductos se realiza teniendo en cuenta el caudal aplicado a la laguna principal y la pérdida de carga disponible. El sistema ofrece la ventaja de hacer muy versátiles las instalaciones de tratamiento equipadas con estos aditamentos, además de permitir flexibilidad en la operación.

Existen varios modelos de estructuras de salida, cada uno con determinadas ventajas y complicaciones constructivas. Sin embargo, en líneas generales, las estructuras deben ser concebidas para permitir la variación periódica del nivel de aguas para el consiguiente control de insectos.

## CAPITULO 3

# DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION

### 3.1 CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO

#### 3.1.1 Lagunas Anaeróbicas

$i = 50 - 300 \text{ grDBO}_5/\text{m}^3 \cdot \text{día}$

$R = 1 - 5 \text{ días}$

$R = \text{periodo de retención} = V/Q$

Profundidad 2.0 a 4.0 metros

Espacio adicional para acumulación de lodos  
200 L/hab.año (primarias).

#### 3.1.2 Lagunas Facultativas

**Primarias**

$i = 250 - 350 \text{ kgDBO}_5/\text{ha} \cdot \text{día}$

$R = 5 - 25 \text{ días}$

Profundidad 1.0 a 2.0 metros

Espacio adicional para acumulación de lodos  
200 L/hab.año



### 3.1.3 Lagunas Secundarias y de Acabado

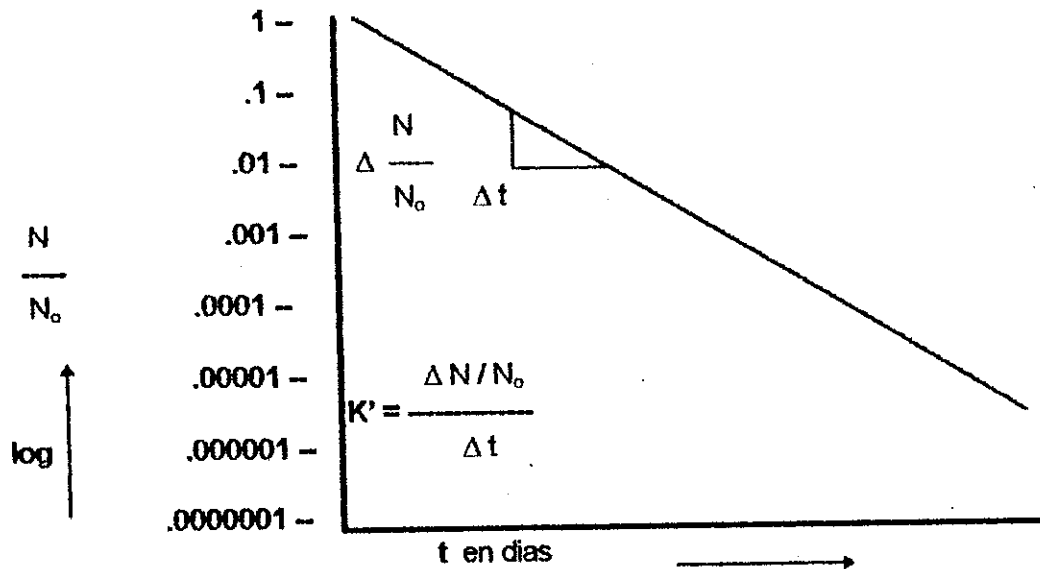
$i = 150 - 250 \text{ kgDBO}_5/\text{ha.día}$

$R = 5 - 10 \text{ días (usualmente } R = 6 \text{)}$

Profundidad 1.0 a 2.0 metros

### 3.1.4 Eficiencia en la Remoción de Patógenos

#### a) Flujo Intermitente o a Pistón



$$\text{Log } N/N_0 = -k' t$$

$$\text{Si } K_0 = 2.3 k'$$

$$\text{Ln } N/N_0 = -K_0 t$$

$$N/N_0 = e^{-K_0 t} \quad (1)$$

$$dN/dt = -K_0 N \quad (2) \quad \text{Ley de Chick}$$

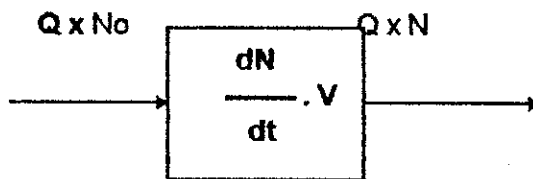
Para lagunas de estabilización con desagüe doméstico ( 20°C )

$$1 < K_b < 2 \text{ días}^{-1}$$

$K_b$  = constante de decaimiento de coliformes fecales

$$K_{bT} = K_{b20} \times 1.05^{(T-20)} \quad (3)$$

**b) Mezcla Completa**



$$N_o + \text{cambio} = N$$

$$\text{cambio} = \frac{dN}{dt} \cdot V = -K_b \cdot N \cdot V$$

$$Q N_o + (-K_b \cdot N \cdot V) = Q N$$

$$N_o = N (1 + K_b (V/Q))$$

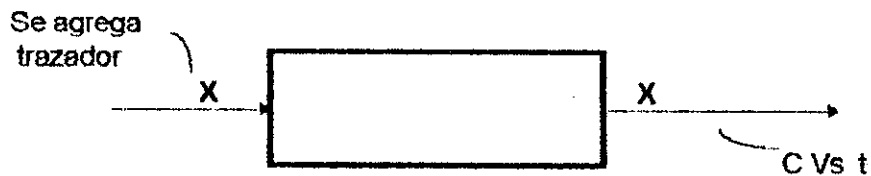
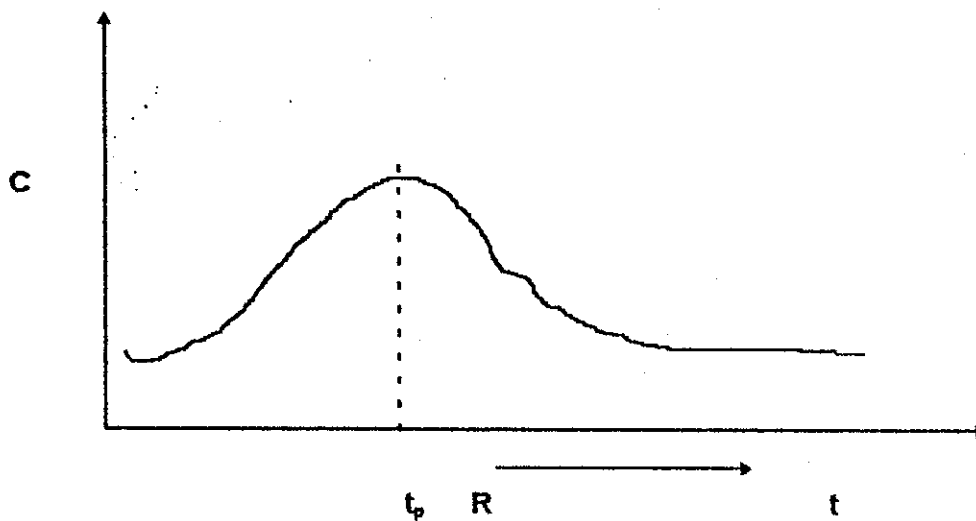
$$\frac{N}{N_o} = \frac{1}{1 + K_b (V/Q)}$$

Pero  $V/Q = R = \text{Período de retención} \quad (4)$

$$\frac{N}{N_o} = \frac{1}{1 + K_b R} \quad (5)$$

### c) Flujo Disperso

En la práctica el flujo no es a pistón ni es a mezcla completa sino que es disperso,



$$\text{Si } 0.3 < t_p / R < 0.8$$

$$d = 4.027 (10)^{-2.09(t_p/R)} \quad (6)$$

$$\text{Si } 0.03 < t_p / R < 0.3$$

$$d = 0.2 (t_p / R)^{-1.34} \quad (7)$$

d = dispersión (adimensional)

$$d = D / (U.L) \quad (8)$$

donde : U = velocidad media del agua en la laguna (m/día)  
 L = longitud de la laguna en el sentido del flujo (m)  
 D = coeficiente de dispersión (m<sup>2</sup>/día)

$$\frac{N}{N_0} = \frac{4 a \cdot \exp^{(1/(2d))}}{(1+a)^2 \exp^{(a/(2d))} - (1-a)^2 \exp^{-(a/(2d))}} \quad (9)$$

$$a = (1 + 4 \cdot K_b \cdot R \cdot d)^{(1/2)} \quad (10)$$

si  $d < 2$  (como es lo usual en lagunas de estabilización)

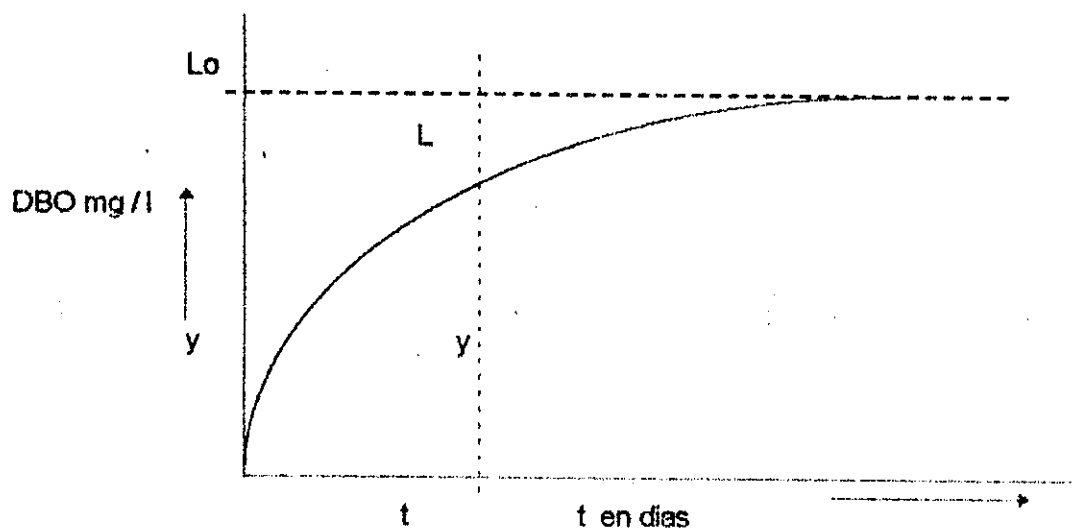
$$\frac{N}{N_0} = \frac{4 a \cdot \exp^{((1-a)/(2d))}}{(1+a)^2} \quad (11)$$

"d" se puede calcular por medio de trazadores con las ecuaciones anteriormente dadas. También se ha usado la siguiente ecuación basada en la geometría de la laguna y "R" (recomendada solo para proyectos):

$$d = \frac{1.158 (R (W + 2.Z))^{0.489} (W)^{1.611}}{(T + 42.5)^{0.734} (L.Z)^{1.489}} \quad (12)$$

donde : T = temperatura promedio del agua  
W = ancho de la laguna  
Z = profundidad de la laguna  
R = periodo de retención  
L = Longitud de la laguna en el sentido del flujo

### 3.1.5 Eficiencia en la Remoción de Carga Orgánica



$$dL / dt = - KL \quad (13)$$

Obsérvese que la ecuación (13) es matemáticamente similar a la (2), lo anterior implica que las ecuaciones (1), (5), (9), (10), (11) y (12) son aplicables a este caso sustituyendo  $K_b$  por  $K$ ,  $K_{Ta}$ ,  $K_r$  según sea el caso, y reemplazando  $N$  y  $No$  por  $L_p$  y  $Lo$  respectivamente.

De esta manera se llega a las siguientes ecuaciones:

### Lagunas Anaeróbicas

#### a) Mezcla Completa

$$L_p / Lo = 1 / (1 + K_{Ta}R) \quad (14)$$

Para eficiencias altas  $K_{Ta}$  es muy bajo; por esta razón, las lagunas anaeróbicas se suelen diseñar para eficiencias menores del 50 % en remoción de DBO.

La relación de Vincent, presentada a continuación como ecuación (15) da alguna idea sobre el valor de  $K_{Ta}$ .

$$K_{Ta} = K_a (L_p / Lo)^n \quad (15)$$

$$K_a = 6.0 ; n = 4.8 \quad (\text{a } 22^\circ\text{C})$$

Con la anterior ecuación se obtienen valores de  $K_{Ta}$  de 0.22; 0.13 y 0.07 días<sup>-1</sup> para eficiencias del 50% , 55% y 60% respectivamente.

Debido a la forma y tamaño de estas lagunas, solo se analiza el caso de mezcla completa.

### Lagunas Facultativas y de Acabado

#### a) Mezcla Completa

$$L_p / Lo = 1 / (K_r R) \quad (16)$$

$$K_{r 35^\circ\text{C}} = 1.2 \text{ días}^{-1}$$

$$K_{r 35^\circ\text{C}} / K_{Ta} = 1.085^{35-T}$$

#### b) Flujo a Pistón

$$L_p = Lo \exp^{-K_r R} \quad (17)$$

### c) Flujo Disperso

$$\frac{L_p}{L_0} = \frac{4 a \exp^{((1-a)/(2d))}}{(1+a)^2} \quad (18)$$

$$a = (1 + 4 K_r R d)^{1/2} \quad (19)$$

Para calcular "d" úsese la ecuación (12) en proyectos, y las (6) y (7) en evaluaciones.

## 3.2 CRITERIOS DE DISEÑO PROPUESTOS

Se propone tratar las aguas residuales de origen doméstico mediante su descarga en dos lagunas anaeróbicas primarias de alta carga (en paralelo), cuyos efluentes pasan en serie a una laguna alargada con una relación largo ancho (L/W) de 15.

### 3.2.1 Dos Lagunas Anaeróbicas Primarias

Estas lagunas serán cuadradas, de 4 metros de profundidad (Z), más una profundidad adicional (Za) para acumulación de lodos, los cuales se removerán cada dos años (remoción en solo una de las lagunas una vez al año). La carga superficial recomendable a aplicar (i), así como la profundidad adicional para acumulación de lodos dependerá de la temperatura promedio del agua durante el mes más frío del año, de acuerdo con los valores indicados en la Tabla 1.

TABLA 1

Temperatura en °C	Lagunas Anaeróbicas Primarias		Laguna Alargada
	Carga de DBO kg/ha/día	Profundidad Adicional (m)	Const. Dec. 1/días
T	i	Za	Kb
15	2000	0.60	0.59
20	3000	0.80	0.75
25	4000	1.00	0.96
30	5000	1.20	1.22

Con el dimensionamiento propuesto estas lagunas primarias eliminarán un ciclo logarítmico en la concentración de coliformes fecales. Además acondicionarán el agua para su paso a la laguna facultativa alargada que recibe sus efluentes.

Estas lagunas anaeróbicas deberán estar alejadas por lo menos un kilómetro de la ciudad o 500 metros de la casa periurbana más cercana. El olor que producen estas lagunas en climas tropicales es comparable al de un tanque inhoff. El olor puede ser atenuado recirculando el efluente de la laguna facultativa alargada hacia estas lagunas primarias o utilizando aeración mecánica.

Las dimensiones de estas lagunas primarias están dadas por la ecuación:

$$Wp = 100 (yc (P/2) / y)^{1/2}$$

En la cual:  $Wp$  = lado medio en metros

$i$  = tasa de trabajo (DBO 5 días - 20°C) para la temperatura promedio del agua en el mes más frío en kg/ha/día. Ver tabla 1

$yc$  = demanda bioquímica de oxígeno per capita a 5 días y 20°C en g/día

$P$  = población de diseño en miles de habitantes

### 3.2.2 Laguna Secundaria Alargada

Se considera que esta laguna trabaja bajo el régimen de flujo a pistón pudiendo ser dimensionada con la fórmula

$$N = N_0 \exp^{-(4/9)(V/Q)K_b}$$

En la cual:  $N_0$  = Concentración de bacterias que ingresa a la laguna

$N$  = Concentración de bacterias del efluente

$V$  = Volumen de la laguna en metros cúbicos

$Q$  = Caudal afluente en metros cúbicos por día

$K_b$  = Constante de decaimiento de bacterias en 1/días, buscar valor para temperatura dada en tabla 1

Si se quiere hacer reuso directo, el efluente deberá tener una concentración de coliformes fecales (CF) menor de 1000/100 ml.

Suponiendo un agua residual cruda con 1000000000 CF/100 ml que se depure un 90% en las lagunas primarias (efluente primario con 100000000 CF/100 ml), se tiene que para lograr un efluente con 1000/100 ml:

$$N/N_0 = 1000/1000000000 = 0.00001$$

De la ecuación se tiene:

$$\ln(N/N_0) = -(4/9)(V/Q)K_b$$

$$\ln(0.00001) = -(4/9)(V/Q)K_b = -11.51293$$

$$V = 25.90408 Q / K_b$$

El número (4/9) es un factor de seguridad.(ver referencia 1)

Si la laguna tiene una relación largo ancho (L/W) de 15 y una profundidad de 2.5 m:

$$3W \cdot 5W \cdot 2.5 = 37.5 W^2 = V = 25.90408 Q / K_b$$

$$W^2 = 0.69 Q / K_b$$

$$W = 0.83 (Q / K_b)^{1/2}$$

Donde :  $W$  = Ancho medio de la laguna alargada  
 $K_b$  = Constante de decaimiento para la temperatura promedio del agua en el mes más frío. Ver tabla 1  
 $Q$  = Caudal promedio  $m^3/día$   
 $Q = qP$

Donde :  $q$  = Caudal de aguas residuales en  $L/hab/día$   
 $P$  = Población de diseño en miles de habitantes  
 $W = 0.83 (qP / K_b)^{(1/2)}$

Estas dos últimas ecuaciones permiten hacer el diseño de las lagunas de una manera muy rápida.

### 3.2.3 Dimensionamiento obtenido

Para los valores de " $i$ " y " $K_b$ " de la tabla 1, una  $yc$  de 50 gramos por habitante por día, una producción de aguas residuales " $q$ " de 200 litros por habitante por día, se obtienen los dimensionamientos mostrados en las tablas 2 y 3.

#### 3.2.3.1 Dos Lagunas Anaeróbicas Primarias

**TABLA 2**

**Valores Obtenidos de  $W_p$  en metros**

Población en miles	Temperatura en grados centígrados			
	15	20	25	30
	Valores de " $i$ " en $kg/ha/día$			
$P$	2000	3000	4000	5000
2	15.81	12.91	11.18	10.00
5	25.00	20.41	17.68	15.81
10	35.36	28.87	25.00	22.36
25	55.90	45.64	39.53	35.36
50	79.06	64.55	55.90	50.00
100	111.80	91.29	79.06	70.71
$Z=$	4.00	4.00	4.00	4.00
$Za=$	0.60	0.80	1.00	1.20



### 3.2.3.2 Laguna Secundaria Alargada (LW =15)

Tabla 3

#### Valores Obtenidos de W en metros

Población en miles	Temperatura en grados centígrados			
	15	20	25	30
	Valores de Kb en 1/día			
P	0.59	0.75	0.96	1.22
2	21.61	19.17	16.94	15.03
5	34.17	30.31	26.79	23.76
+10	48.32	42.86	37.88	33.61
25	76.41	67.77	59.90	53.14
50	108.06	95.84	84.71	75.14
100	152.82	135.54	119.80	106.27
Z=	2.50	2.50	2.50	2.50

En lugares quebrados las lagunas secundarias alargadas se pueden hacer "serpenteando" siguiendo las curvas de nivel. En los lugares planos es muy caro hacer lagunas alargadas, por lo que se sugiere seguir un esquema con "mamparas" o "pantallas".

### 3.2.4 EJEMPLO: Evaluación de la calidad del efluente de un sistema de lagunas de estabilización.

Los valores de Kb y K para este ejemplo fueron tomados en base a la calibración hecha a un sistema de lagunas en San Juan de Miraflores, Lima, Perú. Pero se debe tener en cuenta que para estos valores deben hacerse calibraciones para diferentes áreas geográficas.

Información requerida

Esquema de diseño:

	Relación L / W	
Dos lagunas primarias	1	Anaerobias
Una laguna secundaria	3	Facultativa
Una laguna terciaria	9	Facultativa

**Parámetros de diseño:**

P = 100,000	habitantes	HCF = 0.45	(lag. prim.)
q = 200	l/hab/día	0.48	(lag. sec.)
T = 20	°C	0.50	(lag. ter.)
No = 1.0 E + 09	NMP / 100 ml	SCF <sub>DBO</sub> = 0.70	(lag. prim.)
i <sub>20</sub> = 3,000	kg DBO / ha / día (lag. prim.)	0.85	(lag. sec.)
250	kg DBO / ha / día (lag. sec.)	0.90	(lag. ter.)
250	kg DBO / ha / día (lag. ter.)	SCF <sub>CF</sub> = 0.96	(lag. prim.)
K <sub>20</sub> = 0.24	1 / días (lag. prim.)	0.97	(lag. sec.)
0.25	1 / días (lag. sec.)	0.98	(lag. ter.)
0.26	1 / días (lag. ter.)	Lco = 300	mg / l
Kb <sub>20</sub> = 0.50	1 / días (lag. prim.)	IAF = 0.00	(lag. prim.)
0.80	1 / días (lag. sec.)	0.25	(lag. sec.)
0.85	1 / días (lag. ter.)	0.15	(lag. ter.)
yc = 50	gr DBO / hab . día		

**Proceso del Diseño :**

**Dimensionamiento de lagunas primarias**

Utilizando la formula

$$\begin{aligned}
 Wp &= 100 (Yc (P/2) / i)^{(1/2)} \\
 &= 100 (50 (100/2) / 3000)^{(1/2)} \\
 &= 91.287 \approx 90.00 \text{ m (solamente por razones de calculo)}
 \end{aligned}$$

Para la profundidad se toma Z = 4 m.

$$\begin{aligned}
 i &= i_0 \times 1.05^{(T-20)} \\
 &= 3000 \times 1.05^{(20-20)} \\
 &= 3000 \text{ Kg DBO / ha x día}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K &= K_{20} \times 1.05^{(T-20)} \\
 &= 0.24 \times 1.05^{(20-20)} \\
 &= 0.24
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Kb &= Kb_{20} \times 1.05^{(T-20)} \\
 &= 0.50 \times 1.05^{(20-20)} \\
 &= 0.50
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= W \times L / 10000 \\
 &= 90 \times 90 / 10000 \\
 &= 0.81 \text{ hec.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V &= A \times Z \times 10000 \\
 &= 0.81 \times 4 \times 10000 \\
 &= 32400 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= \text{Hab} \times \text{Prod. Aguas Resi.} / 86400 / 2 \text{ (por ser dos lagunas primarias se divide entre dos el caudal de ingreso)} \\
 &= 100000 \times 200 / 86400 / 2 \\
 &= 115.74 \text{ l/seg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= 115.74 \times 86400 / 1000 \\
 &= 10000 \text{ m}^3 / \text{dia}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R &= \text{HCF} \times L \times W \times Z / Q \\
 &= 0.45 \times 90 \times 90 \times 4 / 10000 \\
 &= 1.46 \text{ días}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= ( 1.158 ( R ( W + 2 Z ) )^{0.489} W^{1.511} ) / ( ( T + 42.5 )^{0.734} ( L \times Z )^{1.489} ) \\
 &= ( 1.158 ( 1.46 ( 90 + 2 \times 4 ) )^{0.489} 90^{1.511} ) / ( ( 20 + 42.5 )^{0.734} ( 90 \times 4 )^{1.489} ) = 0.088
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \text{sqr} ( 1 + 4 \times K \times R \times d ) \\
 &= \text{sqr} ( 1 + 4 \times 0.24 \times 1.46 \times 0.088 ) \\
 &= 1.06
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ab &= \text{sqr} ( 1 + 4 \times K_b \times R \times d ) \\
 &= \text{sqr} ( 1 + 4 \times 0.50 \times 1.46 \times 0.088 ) \\
 &= 1.12
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_o &= Q \times L_{co} / 1000 \\
 &= 10000 \times 300 / 1000 \\
 &= 3000 \text{ kg / dia}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_p &= ( \text{SCF}_{\text{DBO}} \times L_o \times 4 \times a \times \exp ( ( 1 - a ) / ( 2 \times d ) ) ) / ( 1 + a )^2 + \text{IAF} \times L_o \\
 &= ( 0.70 \times 3000 \times 4 \times 1.06 \times \exp ( ( 1 - 1.06 ) / ( 2 \times 0.09 ) ) ) / ( 1 + 1.06 )^2 + 0 \\
 &= 1503.44 \text{ Kg}_{\text{DBO5}} / \text{dia}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{cp} &= ( L_p / Q ) \times 1000 \\
 &= ( 1503.44 / 10000 ) \times 1000 \\
 &= 150.34 \text{ mg / l}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N1 &= (SCF_{CF} \times No \times 4 \times ab \times \exp((1 - ab)/(2 \times d)))/(1 + ab)^2 \\
 &= (0.96 \times 1 \text{ E } 09 \times 4 \times 1.12 \times \exp((1 - 1.12)/(2 \times 0.09)))/(1 + 1.12)^2 \\
 &= 4.9 \text{ E } 08 \text{ NMP CF / 100 ml}
 \end{aligned}$$

Eficiencia en lagunas individuales

$$\begin{aligned}
 \text{Efic. DBO} &= ((Lo - Lp)/Lo) \times 100 \\
 &= ((3000 - 1503.44)/3000) \times 100 \\
 &= 49.88 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Efic. CF} &= ((No - N)/No) \times 100 \\
 &= ((1 \text{ E } 09 - 4.9 \text{ E } 08)/1 \text{ E } 09) \times 100 \\
 &= 50.87 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ia &= Lo / A \\
 &= 3000 / 0.81 \\
 &= 3703.70 \text{ KgDBO / ha x día}
 \end{aligned}$$

Eficiencia en series de lagunas

$$\begin{aligned}
 \text{Efic. DBO} &= ((Lco - Lcp)/Lco) \times 100 \\
 &= ((300 - 150.34)/300) \times 100 \\
 &= 49.88 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Efic. CF} &= ((No - N)/No) \times 100 \\
 &= ((1 \text{ E } 09 - 4.9 \text{ E } 08)/1 \text{ E } 09) \times 100 \\
 &= 50.87 \%
 \end{aligned}$$

## LAGUNA SECUNDARIA

$$\begin{aligned}
 i &= i_0 \times 1.05^{(T-20)} \\
 &= 250 \times 1.05^{(20-20)} \\
 &= 250 \text{ Kg DBO / ha x día}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K &= K_{20} \times 1.05^{(T-20)} \\
 &= 0.25 \times 1.05^{(20-20)} \\
 &= 0.25
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Kb &= Kb_{20} \times 1.05^{(T-20)} \\
 &= 0.80 \times 1.05^{(20-20)} \\
 &= 0.80
 \end{aligned}$$

### Dimensionamiento de laguna secundaria

$$N1 = 4.9 E 08$$

$$N = 1 E 07$$

$$N/N1 = \exp((-4/9)(V/Q)Kb)$$

$$1 E 07 / 4.9 E 08 = \exp((-4/9)(V/Q) Kb)$$

$$\ln(2.04 E -02) = (-4/9)(V/Q) Kb$$

$$-3.89 = (-4/9)(V/Q) Kb$$

$$V = 8.76 Q / Kb$$

Se usa una relacion  $L/W = 3$  y una profundidad  $Z = 2.5$  m

$$W \times 3W \times 2.5 = 8.76 Q / Kb$$

$$7.5 W^2 = 8.76 Q / Kb$$

$$W^2 = 1.17 Q / Kb$$

$$W = 1.08 \text{ sqr}(Q / Kb)$$

$$Q = 20000 - \text{p\u00e9rdidas por evaporacion (4 \%)}$$

$$= 19200 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

$$\text{Entonces } W = 1.08 \text{ sqr}(19200 / 0.80)$$

$$= 167.31 \text{ m} \approx 170.00 \text{ m}$$

$$\text{y } L = 3 \times W$$

$$= 510 \text{ m}$$

$$A = W \times L / 10000$$

$$= 170 \times 510 / 10000$$

$$= 8.67 \text{ hec.}$$

$$V = A \times Z \times 10000$$

$$= 8.67 \times 2.5 \times 10000$$

$$= 216750 \text{ m}^3$$

$$Q = 222.22 \text{ l/seg}$$

$$= 19200 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

$$R = HCF \times L \times W \times Z / Q$$

$$= 0.48 \times 170 \times 510 \times 2.5 / 19200$$

$$= 5.41 \text{ dias}$$

$$d = (1.158 (R (W + 2Z))^{0.489} W^{1.511}) / ((T + 42.5)^{0.734} (L \times Z)^{1.489})$$

$$= (1.158 (5.41 (170 + 2 \times 2.5))^{0.489} 170^{1.511}) / ((20 + 42.5)^{0.734} (510 \times 2.5)^{1.489})$$

$$= 0.21$$

$$\begin{aligned}
 a &= \text{sqr}(1 + 4 \times K \times R \times d) \\
 &= \text{sqr}(1 + 4 \times 0.25 \times 5.41 \times 0.21) \\
 &= 1.46
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ab &= \text{sqr}(1 + 4 \times K_b \times R \times d) \\
 &= \text{sqr}(1 + 4 \times 0.80 \times 5.41 \times 0.21) \\
 &= 2.15
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_o &= Q \times L_{co} / 1000 \\
 &= 19200 \times 160.50 / 1000 \\
 &= 3081.60 \text{ kg / día}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_p &= (SCF_{DBO} \times L_o \times 4 \times a \times \exp((1 - a)/(2 \times d))) / (1 + a)^2 + IAF \times L_o \\
 &= (0.85 \times 3081.6 \times 4 \times 1.46 \times \exp((1 - 1.46)/(2 \times 0.21))) / (1 + 1.46)^2 + 0.25 \times 3081.60 \\
 &= 1615.83 \text{ Kg}_{DBO5} / \text{día}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{cp} &= (L_p / Q) \times 1000 \\
 &= (1615.83 / 19200) \times 1000 \\
 &= 84.16 \text{ mg/l}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_2 &= (SCF_{CF} \times N_o \times 4 \times ab \times \exp((1 - ab)/(2 \times d))) / (1 + ab)^2 \\
 &= (0.97 \times 4.9 \text{ E } 08 \times 4 \times 2.15 \times \exp((1 - 2.15)/(2 \times 0.21))) / (1 + 2.15)^2 \\
 &= 2.67 \text{ E } 07 \text{ NMP CF / 100 ml}
 \end{aligned}$$

#### Eficiencia en lagunas individuales

$$\begin{aligned}
 \text{Efic. DBO} &= ((L_o - L_p) / L_o) \times 100 \\
 &= ((3081.60 - 1615.83) / 3081.60) \times 100 \\
 &= 47.56 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Efic. CF} &= ((N_o - N) / N_o) \times 100 \\
 &= ((4.9 \text{ E } 08 - 2.67 \text{ E } 07) / 4.9 \text{ E } 08) \times 100 \\
 &= 94.55 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ia &= L_o / A \\
 &= 3081.60 / 8.67 \\
 &= 355.43 \text{ Kg}_{DBO} / \text{ha} \times \text{día}
 \end{aligned}$$

#### Eficiencia en series de lagunas

$$\begin{aligned}
 \text{Efic. DBO} &= ((L_{co} - L_{cp}) / L_{co}) \times 100 \\
 &= ((300 - 84.16) / 300) \times 100 \\
 &= 71.95 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Efic. CF} &= ((N_0 - N) / N_0) \times 100 \\ &= ((1 \text{ E } 09 - 2.67 \text{ E } 07) / 1 \text{ E } 09) \times 100 \\ &= 97.33 \% \end{aligned}$$

### LAGUNA TERCIARIA

$$\begin{aligned} i &= i_0 \times 1.05^{(T-20)} \\ &= 250 \times 1.05^{(20-20)} \\ &= 250 \text{ Kg DBO / ha x dia} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K &= K_{20} \times 1.05^{(T-20)} \\ &= 0.26 \times 1.05^{(20-20)} \\ &= 0.26 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_b &= K_{b20} \times 1.05^{(T-20)} \\ &= 0.85 \times 1.05^{(20-20)} \\ &= 0.85 \end{aligned}$$

Dimensionamiento de laguna terciaria

$$\begin{aligned} N_2 &= 2.67 \text{ E } 07 \\ N &= 1000 \text{ (norma para el reuso en riego)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N/N_2 &= \exp((-4/9)(V/Q)K_b) \\ 1000/2.67 \text{ E } 07 &= \exp((-4/9)(V/Q)K_b) \\ \ln(3.74 \text{ E } -05) &= (-4/9)(V/Q)K_b \\ -10.19 &= (-4/9)(V/Q)K_b \\ V &= 22.93 Q/K_b \end{aligned}$$

Se usa una relacion  $L/W = 9$  y una profundidad  $Z = 2.5 \text{ m}$

$$\begin{aligned} W \times 9W \times 2.5 &= 22.93 Q/K_b \\ 22.5 W^2 &= 22.93 Q/K_b \\ W^2 &= 1.02 Q/K_b \\ W &= 1.01 \text{ sqr}(Q/K_b) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= 19200 - \text{p\u00e9rdidas por evaporacion (7 \% ) en lagunas secundarias} \\ &= 17856 \text{ m}^3/\text{dia} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Entonces } W &= 1.01 \text{ sqr}(17856/0.85) \\ &= 146.39 \text{ m} \approx 150.00 \text{ m} \end{aligned}$$

$$y \quad L = 9 \times W \\ = 1350 \text{ m}$$

$$A = W \times L / 10000 \\ = 150 \times 1350 / 10000 \\ = 20.25 \text{ hec.}$$

$$V = A \times Z \times 10000 \\ = 20.25 \times 2.5 \times 10000 \\ = 506250 \text{ m}^3$$

$$Q = 206.67 \text{ l / seg} \\ = 17856 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

$$R = \text{HCF} \times L \times W \times Z / Q \\ = 0.50 \times 150 \times 1350 \times 2.5 / 17856 \\ = 14.16 \text{ dias}$$

$$d = ( 1.158 ( R ( W + 2 Z ) )^{0.489} W^{1.511} ) / ( ( T + 42.5 )^{0.734} ( L \times Z )^{1.489} ) \\ = ( 1.158 ( 14.16 ( 150 + 2 \times 2.5 ) )^{0.489} 150^{1.511} ) / ( ( 20 + 42.5 )^{0.734} ( 1350 \times 2.5 )^{1.489} ) \\ = 0.10$$

$$a = \text{sqr} ( 1 + 4 \times K \times R \times d ) \\ = \text{sqr} ( 1 + 4 \times 0.26 \times 14.16 \times 0.10 ) \\ = 1.57$$

$$ab = \text{sqr} ( 1 + 4 \times K_b \times R \times d ) \\ = \text{sqr} ( 1 + 4 \times 0.85 \times 14.16 \times 0.10 ) \\ = 2.41$$

$$L_0 = Q \times L_{c0} / 1000 \\ = 17856 \times 84.16 / 1000 \\ = 1502.76 \text{ kg / dia}$$

$$L_p = ( \text{SCF}_{\text{DBO}} \times L_0 \times 4 \times a \times \exp ( ( 1 - a ) / ( 2 \times d ) ) ) / ( ( 1 + a )^2 + \text{IAF} \times L_0 ) \\ = ( 0.90 \times 1502.76 \times 4 \times 1.57 \times \exp ( ( 1 - 1.57 ) / ( 2 \times 0.1 ) ) ) / ( ( 1 + 1.57 )^2 + 0.15 \times 1502.76 ) \\ = 299.80 \text{ Kg}_{\text{DBO5}} / \text{dia}$$

$$L_{cp} = ( L_p / Q ) \times 1000 \\ = ( 299.80 / 17856 ) \times 1000 \\ = 16.21 \text{ mg / l}$$



$$\begin{aligned}
 N &= (SCF_{CF} \times N_o \times 4 \times ab \times \exp((1 - ab)/(2 \times d)))/(1 + ab)^2 \\
 &= (0.98 \times 2.67 \text{ E } 07 \times 4 \times 2.41 \times \exp((1 - 2.41)/(2 \times 0.10)))/(1 + 2.41)^2 \\
 &= 18.81 \text{ E } 03 \text{ NMP CF / 100 ml}
 \end{aligned}$$

#### Eficiencia en lagunas individuales

$$\begin{aligned}
 \text{Efic. DBO} &= ((L_o - L_p)/L_o) \times 100 \\
 &= ((1502.76 - 299.80)/1502.76) \times 100 \\
 &= 80.05 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Efic. CF} &= ((N_o - N)/N_o) \times 100 \\
 &= ((2.67 \text{ E } 07 - 18.81 \text{ E } 03)/2.67 \text{ E } 07) \times 100 \\
 &= 99.93 \%
 \end{aligned}$$

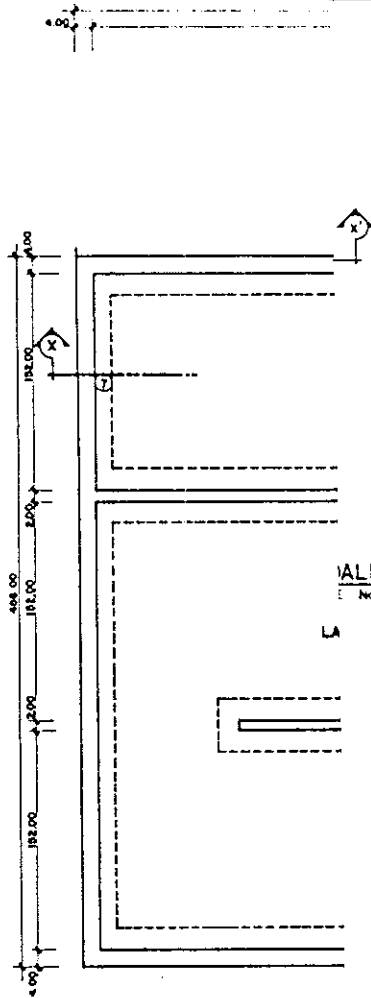
$$\begin{aligned}
 ia &= L_o / A \\
 &= 1502.76 / 20.25 \\
 &= 74.21 \text{ KgDBO / ha x día}
 \end{aligned}$$

#### Eficiencia en series de lagunas

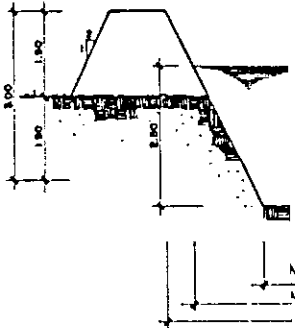
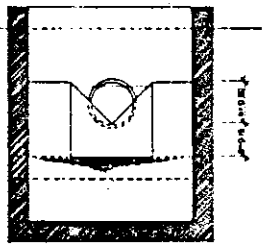
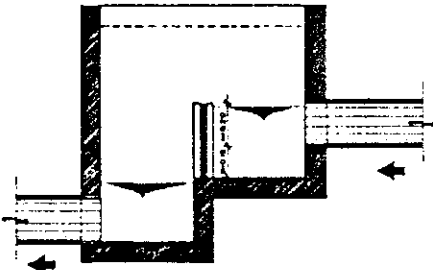
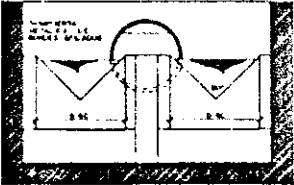
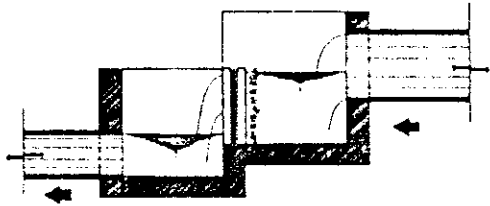
$$\begin{aligned}
 \text{Efic. DBO} &= ((L_{co} - L_{cp})/L_{co}) \times 100 \\
 &= ((300 - 16.21)/300) \times 100 \\
 &= 94.60 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Efic. CF} &= ((N_o - N)/N_o) \times 100 \\
 &= ((1 \text{ E } 09 - 18.81 \text{ E } 03)/1 \text{ E } 09) \times 100 \\
 &= 99.99 \%
 \end{aligned}$$

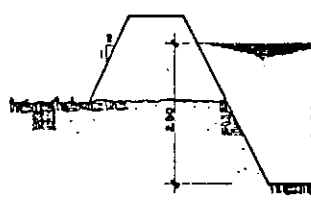
Ver plano del diseño de la batería de lagunas a continuación.



BAILES  
No 1



NEXION A LAGUNAS  
DE ARTE No 2, 3, 4, 5, 6.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA		
FACULTAD DE INGENIERIA		
DEPARTAMENTO DE HIDRAULICA		
IO MARTINEZ IO MARTINEZ CTO BARRIOS A SO	CONTIENE DIMENSIONAMIENTO DE BATERIA DE LAGUNAS Y DETALLE DE ESTRUCTURAS DE ENTRADA, SALIDA E INTERCONEXION.	ESCALA SIN ESCALA FECHA NOV. 28
MARCO TULIO VENTURA		1/1

### **3.3 DIRECTRICES SANITARIAS DE LA ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD SOBRE EL USO DE AGUAS RESIDUALES**

Se pueden tomar cuatro medidas principales para proteger la salud al aprovechar aguas residuales, a saber, tratamiento de éstas, restricción de cultivos, control de los diferentes empleos de las aguas residuales y de la exposición a las mismas y fomento de la higiene. De éstas, el tratamiento de las aguas residuales y la restricción de cultivos han sido las más ampliamente adoptadas en los sistemas de aprovechamiento controlado.

En los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales se acentúa la reducción o la eliminación de la demanda bioquímica de oxígeno y de los sólidos en suspensión, en tanto que en el tratamiento para aprovechamiento se exige la eliminación de agentes patógenos como los helmintos (parásitos), operación para la cual no son muy eficaces los métodos convencionales. El ingeniero que pretenda diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para fines de aprovechamiento debe saber hasta qué punto hay que eliminar los agentes patógenos excretados. Las directrices apropiadas para fines de diseño permitirán seleccionar la tecnología de tratamiento de aguas residuales y las técnicas administrativas de aprovechamiento que ofrezcan el grado de protección sanitaria que se necesite.

#### **3.3.1 Directrices Sobre la Calidad de los Efluentes Empleados en Agricultura**

La eliminación de agentes patógenos es el principal objetivo del tratamiento de aguas residuales para aprovechamiento. Sin embargo, como se señaló antes, las directrices sobre la calidad de las aguas residuales y las normas para aprovechamiento a menudo se expresan según el máximo número permisible de bacterias coliformes fecales.

En la práctica, los coliformes fecales pueden emplearse como indicadores razonablemente fiables de los agentes patógenos bacterianos, ya que sus características de supervivencia en el medio ambiente y su índice de eliminación instantánea o paulatina en los procesos de tratamiento son similares en general. El grupo de "coliformes totales" es menos fiable como indicador, pues no todos los coliformes son exclusivamente de origen fecal y, sobre todo, en los climas cálidos la proporción de coliformes no fecales es a menudo muy elevada. Los coliformes fecales son indicadores menos satisfactorios de los virus excretados y tienen uso muy limitado cuando se trata de protozoarios y helmintos, para los cuales no existen indicadores seguros.

Las directrices que aparecen en el cuadro 3.1 se basan en el hecho de que en muchos países en desarrollo los principales riesgos reales para la salud, como se indicó antes, guardan relación con las helmintiasis y que, por tanto, el uso inocuo de aguas residuales en agricultura o acuicultura exigirla la eliminación casi completa de los helmintos. En consecuencia, estas directrices introducen un método más estricto relativo a la necesidad de reducir el número de huevos de helmintos (de las especies *Ascaris* y *Trichuris* y de *Andquilostomas*) en los efluentes a una concentración de uno o menos por litro.

Esto significa que se debe eliminar un 99.9 % de los huevos de helmintos mediante procesos de tratamiento apropiado en las zonas donde las helmintiasis son endémicas y presentan riesgos tangibles para la salud. (Los estudios prácticos indican que las concentraciones de helmintos raras veces son superiores a 1000 por litro, aun en las zonas endémicas). Los estanques de estabilización con un período de retención de 8 a 10 días son particularmente eficaces para lograrlo, pero también hay otras tecnologías. Otros agentes patógenos de interés pierden su viabilidad en sistemas de estanques en que la retención es prolongada. Por ende, en las directrices se supone que todos los huevos de helmintos y quistes de protozoarios se eliminarán en la misma proporción.

Basándose en las pruebas epidemiológicas existentes, se recomienda una **directriz sobre la calidad bacteriológica** de una media geométrica de 1000 coliformes fecales por cada 100 ml para riesgo sin restricciones de todos los cultivos. Esto se considera tecnológicamente factible.

Las nuevas directrices sobre la calidad bacteriológica son compatibles con la calidad real del agua de río empleada para riego sin restricciones de todos los cultivos en muchos países, sin efectos nocivos conocidos. Se llegan a presentar concentraciones de coliformes fecales típicas en los ríos del mundo, en cerca del 45 % de los mismos, esas concentraciones varían de 1000 por 100 ml o más, pero casi 15 % tienen concentraciones de coliformes fecales de 10000 por 100 ml o más. una norma aceptable para riego con agua natural de superficie, incluida la de río, es de 1000 coliformes totales por 100 ml.

Sin duda, el empleo irracional de normas injustificablemente estrictas sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas para riego ha llevado a ciertas situaciones anómalas. Por lo común, no se obliga a cumplir las normas y han surgido graves problemas de salud pública por el riego de verduras para ensaladas, totalmente carente de reglamentación y a menudo ilegal, con aguas residuales sin tratar. Práctica muy difundida en muchos países en desarrollo.

Sin embargo, los valores de las directrices dadas en el cuadro 3.1 se deben interpretar con cuidado y, de ser necesario, modificar según los factores epidemiológicos, socioculturales y ambientales de cada lugar. Se recomienda una norma de 200 coliformes fecales por 100 ml para efluentes empleados en riego de parques, y sería prudente aceptar esta directriz más estricta para prados públicos. Esta directriz sobre la calidad bacteriológica de los efluentes puede cumplirse de ordinario solo por medio de tratamiento biológico secundario (estanques o tratamiento convencional), seguido de desinfección efectiva.

**CUADRO 3.1**

**Directrices recomendadas sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en agricultura<sup>a</sup>**

Categoría	Condiciones de Aprovechamiento	Grupo Expuesto	Nematodos Intestinales <sup>b</sup> ( media aritmética No. de huevos por litro <sup>c</sup> )	Coliformes fecales ( media geométrica No. por 100 ml <sup>c</sup> )	Tratamiento de aguas residuales necesario para lograr la calidad microbiológica exigida.
A	Riego de cultivos que comúnmente se consumen crudos, campos de deporte, parques públicos	Trabajadores , consumidores , público.	≤ 1	≤ 1000 <sup>c</sup>	Serie de lagunas de estabilización que permiten lograr la calidad microbiológica indicada o tratamiento equivalente
B	Riego de cultivos de cereales , industriales y forrajeros, praderas y árboles <sup>c</sup>	Trabajadores	≤ 1	No se recomienda ninguna norma	Retención en lagunas de estabilización por 8 a 10 días o eliminación equivalente de helmintos y coliformes fecales.
C	Riego localizado de cultivos en la categoría B cuando ni los trabajadores ni el público estén expuestos	Ninguno	No es aplicable	No es aplicable	Tratamiento previo según lo exija la tecnología de riego, pero no menos de sedimentación primaria

- a En casos específicos, se deberían tener en cuenta los factores epidemiológicos, socioculturales y ambientales de cada lugar y modificar las directrices de acuerdo con ello.
- b Especies *Ascaris* , *Trichuris* y anquilostomas.
- c Durante el período de riego.
- d Conviene establecer un directriz más estricta (≤ 200 coliformes fecales por 100 ml) para prados públicos, como los de los hoteles, con los que el público puede entrar en contacto directo.
- e En el caso de los árboles frutales, el riego debe cesar dos semanas antes de cosechar la fruta y ésta no se debe recoger del suelo. No es conveniente regar por aspersión

### 3.3.2 Directrices Sobre la Calidad de los Efluentes Empleados en Acuicultura

Varias infecciones causadas por agentes patógenos excretados son motivo de preocupación cuando se emplean aguas residuales en acuicultura. Ciertas especies de peces son los huéspedes intermedios secundarios de varios parásitos helmínticos. La transmisión ocurre cuando se consume pescado crudo o mal cocido y los quistes que contiene la carne del pescado se incuban en el intestino humano. Los peces que crecen en estanques fertilizados con excretas o que contienen aguas residuales también se pueden contaminar con bacterias y virus. Estos son transportados pasivamente en las escamas o las agallas, el líquido intraperitoneal, las vías digestivas o el músculo de los peces. El pescado que se consume crudo o mal cocido puede transmitir varias infecciones bacterianas o víricas.

Es muy probable que las bacterias invadan el músculo de los peces cuando éstos se cultivan en estanques que contienen concentraciones de coliformes y salmonellas en proporciones superiores a  $10^4$  y a  $10^5$  por 100 ml, respectivamente, y el potencial de invasión muscular aumenta cuando es mayor la exposición de los peces al agua contaminada.

Ciertas pruebas sugieren que hay poca acumulación de organismos entéricos y agentes patógenos en el interior o en la superficie del tejido comestible de los peces cuando la concentración de coliformes fecales en el agua de los estanques es inferior a  $10^3$  por 100 ml.

Aun en menores grados de contaminación, puede haber elevadas concentraciones de agentes patógenos en las vías digestivas y en el líquido intraperitoneal de los peces.

Por lo general, son limitados los datos obtenidos en experimentos y sobre el terreno respecto de los efectos sanitarios del empleo de aguas negras como fertilizantes en acuicultura. Por tanto, se necesita trabajar más antes de establecer una norma definitiva sobre la calidad bacteriológica para piscicultura. Se recomienda, con carácter provisional una directriz sobre la calidad bacteriológica de una media geométrica de  $10^3$  coliformes fecales por 100 ml para el agua de estanques de peces. En vista de la dilución de las aguas residuales que ocurren en la mayoría de esos estanques, esta concentración indicadora de la cantidad de bacterias en el medio puede lograrse tratando las que alimentan el estanque a tal punto que la concentración de coliformes fecales es de  $10^3$  a  $10^4$  por 100 ml.

Convendría aplicar la misma norma sobre coliformes fecales al agua de estanque en los que se cultivan verduras acuáticas (macrofitas) porque en algunas zonas se consumen crudas.

## CAPITULO 4

# OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION

Existe una tradición en cuanto al buen mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Por su misma naturaleza, los lugares donde están ubicadas las lagunas de estabilización deben mantenerse muy limpios y bien presentados. Todas las obras de arte deben mantenerse en buen funcionamiento y totalmente libres de basuras, suciedades, polvo, telarañas, etc.

La superficie de las lagunas debe estar libre de flotantes y natas. Los diques deben estar bien mantenidos, y si tienen césped, éste debe estar bien segado. Los flotantes removidos podrán ser enterrados en un lugar destinado a ese fin o enviados al sistema de disposición de residuos sólidos más cercano.

### 4.1 OPERACION DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION

#### 4.1.1 Operación de Rutina

La operación de rutina de las lagunas de estabilización es bastante simple, por lo que puede ser llevada a cabo por personas que no hayan recibido un alto grado de especialización, siempre que estén bien capacitadas y se les proporcionen guías e instrumentaciones adecuadas.

Las principales labores del operador consisten en:

- a) Verificar que no haya una tendencia de las lagunas a secarse o rebalsarse, y notificar inmediatamente al ingeniero responsable sobre cualquier problema que se presente con los niveles de agua en las lagunas.
- b) Medir, por lo menos cuatro veces al día, las alturas de agua "h" en los vertederos triangulares y demás estructuras de medición de caudales. Cambiar oportunamente las cartas de los registradores automáticos de caudal.
- c) Mantener bien segada la grama de los diques y demás áreas verdes del predio de las lagunas, y conservarlas libres de hierbas y malezas que puedan darles un aspecto desagradable.
- d) Mantener el borde de la laguna libre de hierbas, malezas y otras plantas que puedan facilitar la reproducción de mosquitos y otra clase de insectos.
- e) Mantener limpias y en buen estado de funcionamiento todas las obras de arte, evitando obstrucciones en las mismas o el manipuleo de las compuertas por extraños.
- f) Cuidar las cercas y señales que se pongan en los linderos del predio de las lagunas para evitar que por deterioro de éstos, haya acceso de personas o animales al lugar.
- g) Verificar que se mantengan rigurosamente los niveles de agua y los caudales señalados en el plan de operación, de común acuerdo con el ingeniero responsable.

- h) Hacer oscilar el nivel de las lagunas periódicamente para evitar el desarrollo de mosquitos, mediante la operación de las compuertas/vertedero de las estructuras de interconexión y salida.
- i) Aplicar insecticidas en el caso de que fuera necesario.
- j) Cuidar las lagunas facultativas y de acabado para evitar que haya acumulación de flotantes que eviten la acción beneficiosa de la luz solar. Normalmente, el viento acumula los flotantes en las esquinas, de donde pueden ser removidos con facilidad por medio de rastrillos, etc. Si tal cosa no sucediera, se debe contar con un pequeño bote. El uso de rejillas puede retener algunos de los flotantes, pero no evita tener que remover flotantes de la misma laguna, pues muchos de ellos son producidos en la propia laguna como consecuencia de los procesos biológicos que se suceden en ella, y suelen incluir algas microscópicas y aun plantas acuáticas. Los flotantes removidos se pueden enterrar o secar antes de enviarlos a algún sitio para disposición final de residuos sólidos.
- k) Realizar la remoción periódica de los sedimentos acumulados en las lagunas primarias, de conformidad con lo previsto en el diseño y acatando las instrucciones del ingeniero responsable. Las demás lagunas (secundarias, terciarias, etc.) acumulan tan pocos sedimentos que prácticamente se hace innecesaria su limpieza durante el período de diseño.

#### **4.2 SECADO DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION**

Las lagunas se suelen secar para remover lodos acumulados o para reparaciones. Se recomienda que, antes de secar una laguna para remover lodos, se desvíe el afluente de ella durante treinta días. Esto hace que ya los lodos estén digeridos en su mayor parte al hacer la limpieza, evitando problemas y molestias.

No se recomienda dejar válvulas de fondo para secar las lagunas, debido a que éstas se deterioran y dejan de funcionar cuando así se requiere, y corren el riesgo de ser manipuladas por personas no autorizadas. Por lo tanto, se recomienda secar las lagunas haciendo un sifonaje con mangueras de succión o tuberías. Si se desea, se puede utilizar una bomba para este propósito.

#### **4.3 ACUMULACION, MANEJO Y REMOCION DE LODOS**

Se ha visto la importancia que tiene la geometría de las lagunas. Por consiguiente es de interés para el operador tomar en cuenta la acumulación de lodos, la frecuencia de su remoción y el efecto de los mismos en el comportamiento de los reactores.

Las lagunas de estabilización son sedimentadores sobredimensionados. Por consiguiente, en las lagunas primarias es retenido casi el 100% de los sólidos sedimentables. En las lagunas de estabilización no se lleva a cabo un proceso de floculación biológica como el que ocurre en los lodos activados y los biofiltros. Por consiguiente no ocurre una sedimentación secundaria. Esto hace que la acumulación de lodos en lagunas con grado superior al primario sea despreciable para fines prácticos.



Deberá investigarse para cada área geográfica el volumen de lodo acumulado en las lagunas primarias. Como referencia se indica que este volumen esta entre 150 y 200 lit/hab/año.

Cuando llega el momento de remover los lodos (de acuerdo con lo previsto en el diseño, y tomando en cuenta que debe haber mas de una laguna primaria) se procede a drenar y secar la laguna que se va a limpiar, con lo cual el volumen seco del lodo llega a ser menor (del orden de 50 Lt/hab/año). Para esta ultima operación debe aprovecharse la estación seca o estiaje.

#### **4.4 PROBLEMAS ESPECIALES**

Además de los problemas de rutina, se suelen presentar problemas que requieren atención especial. A continuación se hace referencia a algunos de ellos.

##### **4.4.1 Dificultades al iniciar la operación**

Cuando una laguna de estabilización inicia su vida, las pérdidas por percolacion son mayores debido a que el terreno absorbe mucha agua mientras logra saturarse, y porque aun no se ha producido la disminución de la conductividad hidráulica y de la permeabilidad que ocasionan los sólidos que contienen las aguas residuales y las zoogreas de origen anaeróbico que forman al fluir éstas entre los intersticios del subsuelo.

El hecho de que los abonados potenciales de un sistema de alcantarillado nuevo se conecten lentamente, hace coincidir la época en que las pérdidas son máximas con aquella en que el caudal sanitario es mínimo. Todo lo anterior hace que el periodo inicial de operación sea crítico para la obtención del tirante de agua en la laguna que le permita funcionar satisfactoriamente.

Si no se toman medidas para lograr de alguna manera un nivel de operación satisfactorio, se presentarán problemas tales como el nacimiento de plantas en el fondo de la laguna - las cuales cuesta mucho eliminar - y producción de malos olores.

Para evitar los problemas antes mencionados, se recomienda no diseñar para periodos largos, sino ir construyendo las lagunas paulatinamente, conforme el caudal y la carga orgánica lo van demandando. Ciertas obras hidráulicas y el terreno se deben prever para periodos de veinte o más años, pero el área de lagunas no debe exceder los requerimientos de un periodo de cinco años.

Otra medida que se puede tomar par sobrelevar este periodo crítico, es usar una fuente complementaria de agua, la cual en muchos casos puede venir del mismo río al cual van a descargar las aguas efluentes del sistema de lagunas. En algunos lugares se ha tratado de disminuir la percolacion agregando arcilla suspendida en agua al afluente. La bentonita se ha usado para este propósito con buenos resultados.

#### 4.4.2 Tendencia de la lagunas a secarse

Se ha presentado, aunque con poca frecuencia, el fenómeno de que una laguna que ha venido operando normalmente, presenta de pronto una tendencia a secarse, lo cual obviamente podría dar origen a problemas semejantes a los ya comentados en el párrafo anterior. Las principales causas de este fenómeno han sido mala operación de la estructura distribuidora de caudales, con el consiguiente envío de un caudal muy bajo a una de las lagunas; sequía con la consiguiente merma en la lluvia y en el caudal de aguas residuales; deterioro de alguno de los diques; condiciones meteorológicas que favorezcan una evaporación excepcional; o la presencia simultánea de varios de los fenómenos mencionados.

#### 4.4.3 Tendencia de la laguna a desbordarse

Al diseñar la estructura de salida, debe preverse que durante un aguacero muy intenso que sea a un período de lluvias prolongado (temporal), puede presentarse un caudal que sea mayor que la descarga regular de aguas servidas en diez y hasta veinte veces. Por lo general, una sobreelevación moderada que experimenta la laguna, aumenta la capacidad de descarga del vertedero de salida, el cual logra descargar el caudal excesivo sin problema. El diseñador debe calcular un caudal máximo, usando curvas de intensidad-duración locales y diseñar la estructura de salida, para que lo pueda evacuar sin que se presenten sobreelevaciones del nivel de la laguna mayores de treinta centímetros.

Un mal mantenimiento de las estructuras de salida o interconexión, puede provocar desbordes ocasionados por obstrucciones. Los desbordes en las lagunas de estabilización son muy peligrosos, como en todo dique de tierra, pudiendo llegar a producir el colapso total de la estructura.

#### 4.4.4 Producción de malos olores

Las lagunas anaeróbicas producen un mal olor, propio de su naturaleza, el cual es semejante al que se percibe en los tanques Inhoff. Esta es la razón por la cual, a pesar de sus ventajas, no se pueden usar en lugares muy céntricos o poblados, lo cual obliga a emplear lagunas aereadas si es que el terreno es caro, o lagunas facultativas si es de costo bajo o moderado.

Normalmente, las lagunas facultativas no presentan malos olores. Cuando éstos ocurren, se puede deber a sobrecarga. En centroamérica, para temperaturas entre 20 y 30 °C y alturas menores de 1,000 metros sobre el nivel del mar, se encontró que el límite al cual una laguna facultativa se torna anaeróbica, está muy cerca de los 300 kg/Ha/día de DBO.

Otra causa de malos olores en una laguna facultativa es la presencia de materias flotantes, las cuales al impedir el paso de la luz solar, interrumpen o minimizan el proceso de fotosíntesis con la consiguiente merma en la producción de oxígeno por parte de las algas. Este problema se resuelve con buena operación y mantenimiento.

Los malos olores también pueden ser producidos por la ausencia de algas, debido a que éstas han sido perjudicadas por la presencia de materias tóxicas o excesivamente ácidas o alcalinas. Lo anterior sucede cuando hay descargas de tipo industrial, al alcantarillado, sin los debidos controles.

Con los efluentes de tipo industrial, se puede presentar problemas de falta de nutrientes o color muy alto, que impidan la formación de algas aun después de neutralizado el desecho. En algunos casos, ha dado resultado mezclar el desecho industrial con aguas residuales. En otros casos, se ha propuesto agregar a las lagunas fertilizantes que suplan los nutrientes que faltan.

#### 4.4.5 Problemas con los diques

Un mal diseño, o una mala construcción pueden hacer que los diques presenten problemas de asentamientos o filtraciones. Cuando las filtraciones arrastran partículas del material de que está hecho el dique, hay el peligro de que se esté iniciando una falla por tubificación. Si tal cosa se observa, es mejor bajar el nivel de la laguna lo más que se pueda y verificar el factor de seguridad que el dique presenta contra la tubificación. Si éste es muy bajo, se puede corregir variando su sección o sustituyendo el material del mismo.

Los descensos de nivel del dique por asentamiento deben repararse rápidamente agregando material adicional, previo despulme y escarificación. Un descuido en la reparación de los asentamientos puede causar la falla de toda la estructura. Afortunadamente, los asentamientos en los diques solo se presentan en los primeros años de vida de las lagunas.

#### 4.4.6 Problemas con las obras de arte

Hay gran diversidad de propuestas para diseñar y construir las obras de arte de las lagunas de estabilización. Entre los problemas que pueden presentar algunos diseños están: falta de capacidad hidráulica de los mismos; dificultad para variar el nivel de las lagunas; acumulación de flotantes cerca de los vertederos; obstrucción de la estructura de entrada, etc.

Cuando se observe falta de capacidad hidráulica en las estructuras de salida, se deberán colocar mangueras de succión o tuberías, trabajando como sifones, para evitar la falla de los diques mientras se hacen las correcciones del caso.

## CONCLUSIONES

Las lagunas de estabilización pueden recibir y retener grandes cantidades de aguas residuales, soportando sobrecargas hidráulicas y orgánicas.

Su utilización es satisfactoria para la remoción de agentes patógenos con una alta eficiencia en comparación con sistemas convencionales.

El costo de su operación y mantenimiento, comparado con otros sistemas, es bajo debido a que no requieren personal altamente calificado y su mantenimiento es mínimo.

Las lagunas de estabilización de aguas residuales permiten la reducción de agentes patógenos sin la necesidad de la cloración y la previa clarificación en plantas convencionales de tratamiento, lo cual es muy importante en el caso de los países en desarrollo donde no existen ni los recursos ni el personal necesarios para utilizar las tecnologías de los países desarrollados.

Las lagunas de estabilización aumentan su eficiencia en la remoción de bacterias, virus y parásitos utilizando baterías de lagunas en serie y paralelo.

Su utilización es preferiblemente en áreas rurales ya que el costo del terreno es bajo y la población puede estar alejada de la ubicación de las mismas.

Luego del tratamiento mediante baterías de lagunas se puede utilizar el efluente en riego, acuícultura y recreación bajo el control adecuado de la remoción de agentes patógenos.

Es una de las tecnologías más apropiadas para el tratamiento de aguas servidas en el área rural.

## RECOMENDACIONES

Diseñar las nuevas obras de saneamiento usando tecnologías simples y de eficiencia comprobada, cuya adecuada operación este al alcance del personal del lugar, tendiendo a eliminar los componentes muy complejos.

Seleccionar los métodos de tratamiento de aguas residuales teniendo en cuenta la solución de los problemas de salud pública y sanitarios, especialmente teniendo en consideración los riesgos por su reutilización.

Ampliar las coberturas de alcantarillado sin descuidar al tratamiento de las aguas residuales considerando en todo momento su posible reutilización y el cumplimiento de las normas sanitarias.

Intensificar y alentar la investigación científica tecnológica sobre saneamiento dando apoyo especial a las instituciones encargadas o promoviendo la creación de centros o institutos nacionales dedicados específicamente a esta actividad.

Según el diseño de las lagunas de estabilización presentado en este trabajo se recomienda utilizarlas en áreas rurales y en poblaciones pequeñas, debido a que para una población grande la extensión de terreno a utilizar es considerable y teniendo en cuenta el costo y la excases del mismo no sería factible construir las.

Se debe prestar especial atención en, el tipo de suelo, ya que si éste es de mucha permeabilidad es necesario impermeabilizarlo, ya sea trayendo limos y arcilla al lugar, donde se pretende construir las lagunas o recubrirlas de una capa de concreto, lo que implicaría aumento de costos en la construcción.

Además, es importante tener especial cuidado en la construcción de las obras de arte, como lo son los diques, vertederos, estructuras repartidoras de caudal, así como en las estructuras de interconexión, entrada y salida ya que en base a estas condiciones depende el buen funcionamiento de una batería de lagunas.