

GUÍA PARA EL DISEÑO DE TANQUES SÉPTICOS, TANQUES IMHOFF Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN



Lima, 2005

Tabla de contenido

Página

Capítulo I. Guía para el diseño de tanque séptico, tanque imhoff y laguna de estabilización	
1. Introducción	3
Capítulo II. Diseño de tanque séptico	
1. Introducción	4
2. Definiciones	5
3. Consideraciones a tener en cuenta	6
3.1. Ventajas	6
3.2. Desventajas	6
4. Principios de diseño de tanque séptico	6
5. Diseño de tanque séptico	7
6. Dimensiones internas del tanque séptico	9
7. Consideraciones a un tanque séptico con compartimientos	10
Capítulo III. Diseño de tanque imhoff y lecho de secado	
1. Introducción	11
2. Definiciones	11
3. Consideraciones a tener en cuenta	12
3.1. Ventajas	13
3.2. Desventajas	13
4. Diseño de tanque imhoff	14
4.1. Diseño del sedimentador	14
4.2. Diseño del digestor	16
4.3. Extracción de lodos	17
4.4. Área de ventilación y cámara de natas	17
4.5. Lecho de secado de lodos	18
4.6. Medio de drenaje	20
Capítulo IV. Diseño de laguna de estabilización	
1. Introducción	23
1.1. Proceso aerobio	24
1.2. Proceso anaerobio	26
1.3. Procesos en las lagunas de estabilización facultativas	25
1.4. Factores determinantes en el tratamiento biológico	26
2. Definiciones	26
3. Consideraciones a tener en cuenta	27
3.1. Ventajas	27
3.2. Desventajas	28
4. Diseño de laguna facultativa	28
Bibliografía	34
Anexo. Ejemplo de aplicación	35

Capítulo I. Guía para el diseño de tanque séptico, tanque imhoff y lagunas de estabilización

1. Introducción

Los ríos, lagos y mares recogen, desde tiempos inmemoriales, los desechos que son producidos por la actividad humana. Estos desechos han ido siendo mucho mas grande y problemáticos a medida que ha transcurrido el tiempo.

El agua tiene una gran capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que arrojam los desechos producidos por nuestras actividades. Pesticidas, desechos químicos, metales pesados, etc., se encuentran, en cantidades mayores o menores, al analizar las aguas de los más remotos lugares del mundo. Muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana, y dañinas para la vida.

En la actualidad, las enfermedades cuyo origen proviene de las aguas residuales han tenido una gran acogida como uno de los principales problemas entre la población, en especial las de la zonas rurales, donde el poco conocimiento de los peligros que trae consigo arrojar un agua residual de origen doméstico sin tratamiento ha un cuerpo de agua los hace fácilmente vulnerables a cualquier brote de enfermedades de origen diarreicas, o por cualquier bacteria, parásito, protozario, etc., que se encuentran en la aguas residuales, además del daño que le hacen al ecosistema del cuerpo de agua donde arrojan el agua residual, alterando la flora y fauna del cuerpo de agua .

Las unidades que se emplean para tratar las aguas residuales son muchas, hay de todo tipo, de toda clase y de todo costo. Por esa razón esta guía trata de brindar una ayuda con respecto al dimensionamiento de algunas unidades de tratamiento de aguas residuales en zonas rurales, donde el uso de tecnología muy avanzada, no es factible por diferentes motivos.

En la presente guía se desarrolla metodologías para poder dimensionar adecuadamente unidades de tratamiento, con sus diferentes parámetros, que para este caso son: Tanque Séptico, Tanque Imhoff y Lagunas de Estabilización. A criterio de la persona responsable del proyecto se deja escoger el tipo de unidad que se va a utilizar en los distintos sitios; por esa razón, además se da las ventajas y desventajas de cada unidad y poder mostrar cual es lo más beneficioso para la localidad.

En ningún momento la guía va a ser absoluta, periódicamente debe ser sometido a revisiones para actualizarlo a las necesidades existentes en cada momento. En estas revisiones se incluirá las instrucciones necesarias para cualquier nuevo conocimiento que pudiera surgir, que traiga beneficios a la planta de tratamiento.

Capítulo II. Diseño de tanque séptico

1. Introducción

Los tanques sépticos se utilizarán por lo común para el tratamiento de las aguas residuales de familias que habitan en localidades que no cuentan con servicios de alcantarillado o que la conexión al sistema de alcantarillado les resulta costosa por su lejanía. El uso de tanques sépticos se permitirá en localidades rurales, urbanas y urbano-marginales.

Las aguas residuales pueden proceder exclusivamente de las letrinas con arrastre hidráulico o incluir también las aguas grises domésticas (generadas en duchas, lavaderos, etc.).

El tanque séptico con su sistema de eliminación de efluentes (sistema de infiltración), presenta muchas de las ventajas del alcantarillado tradicional. No obstante, es más costoso que la mayor parte de los sistemas de saneamiento in situ. También requiere agua corriente en cantidad suficiente para que arrastre todos los desechos a través de los desagües hasta el tanque.

Los desechos de las letrinas con arrastre hidráulico, y quizás también de las cocinas y de los baños, llegan a través de desagües a un tanque séptico estanco y herméticamente cerrado, donde son sometidos a tratamiento parcial. Tras un cierto tiempo, habitualmente de 1 a 3 días, el líquido parcialmente tratado sale del tanque séptico y se elimina, a menudo en el suelo, a través de pozos de percolación o de zanjas de infiltración. Muchos de los problemas que plantean los tanques sépticos se deben a que no se tiene suficientemente en cuenta la eliminación del efluente procedente del tanque séptico.

Uno de los principales objetivos del diseño del tanque séptico es crear dentro de este una situación de estabilidad hidráulica, que permita la sedimentación por gravedad de las partículas pesadas. El material sedimentado forma en la parte inferior del tanque séptico una capa de lodo, que debe extraerse periódicamente. La eficiencia de la eliminación de los sólidos por sedimentación puede ser grande, Majumder y sus colaboradores (1960) informaron de la eliminación del 80% de los sólidos en suspensión en tres tanques sépticos de Bengala occidental, y se han descrito tasas de eliminación similares en un solo tanque cerca de Bombay. Sin embargo, los resultados dependen en gran medida del tiempo de retención, los dispositivos de entrada y salida y la frecuencia de extracción de lodos (período de limpieza del tanque séptico). Si llegan repentinamente al tanque grandes cantidades de líquido, la concentración de sólidos en suspensión en el efluente puede aumentar temporalmente, debido a la agitación de los sólidos ya sedimentados.

La grasa, el aceite y otros materiales menos densos que flotan en la superficie del agua formando una capa de espuma pueden llegar a endurecerse considerablemente. El líquido pasa por el tanque séptico entre dos capas constituidas por la espuma y los lodos.

La materia orgánica contenida en las capas de lodo y espuma es descompuesta por bacterias anaerobias, y una parte considerable de ella se convierte en agua y gases. Los lodos que ocupan la parte inferior del tanque séptico se compactan debido al peso del líquido y a los sólidos que soportan. Por ello su volumen es mucho menor que el de los sólidos contenidos en las aguas servidas no tratadas que llegan al tanque. Las burbujas de gas que suben a la superficie crean cierta perturbación en la corriente del líquido. La velocidad del proceso de digestión aumenta con la temperatura, con el máximo alrededor de los 35°C. El empleo de desinfectantes en cantidades anormalmente grandes hace que mueran las bacterias, inhibiendo así el proceso de digestión.

El líquido contenido en el tanque séptico experimenta transformaciones bioquímicas, pero se tiene pocos datos sobre la destrucción de los agentes patógenos. Tanto Majumber y sus colaboradores (1960) hallaron que, aunque los tanques sépticos estudiados habían destruidos del 80% al 90% de los huevos de anquilostomas y *Ascaris*, en términos absolutos el efluente aun contenía grandes cantidades de huevos viables, que estaban presentes en el 90% de las muestras.

Como el efluente de los tanques sépticos es anaerobio y contiene probablemente un elevado número de agentes patógenos, que son una fuente potencial de infección, no debe usarse para regar cultivos ni descargarse canales o aguas superficiales sin permiso de la autoridad sanitaria de acuerdo al reglamento nacional vigente.

2. Definiciones

- **Aguas servidas:** Son todas las aguas de alcantarillado ya sean de origen domésticos (aguas de las casas habitación, edificios comerciales, etc.) o industrial, una vez que han sido utilizadas por el hombre.
- **Afluente:** Líquido que llega a una unidad o lugar determinado, por ejemplo el agua que llega a una laguna de estabilización.
- **Cámara o compartimiento:** Compartimiento estanco, en que se divide el tanque séptico para mejorar el tratamiento de las aguas residuales.
- **Caudal:** Volumen de agua que pasa por un punto dado por unidad de tiempo. Se expresa normalmente en l/seg o m³/seg.
- **Efluente:** Líquido que sale de una unidad o lugar determinado, por ejemplo agua que sale de una laguna de estabilización.
- **Lodos:** Sólidos que se encuentran en el fondo del tanque séptico.
- **Nata:** Sustancia espesa que se forma sobre el agua almacenada en el tanque séptico, compuesto por residuos grasos y otro tipo de desechos orgánicos e inorgánicos flotantes.

- **Sólido sedimentable:** Partícula presente en el agua residual, que tiene la propiedad de precipitar fácilmente.
- **Tanque séptico:** Sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de una vivienda o conjunto de viviendas que combina la separación y digestión de lodos.

3. Consideraciones a tener en cuenta

El ingeniero responsable del proyecto, debe tener en claro las ventajas y desventajas que tiene el emplear el tanque séptico para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, antes de decidir emplear esta unidad en una determinada localidad.

3.1. Ventajas

- Apropiado para comunidades rurales, edificaciones, condominios, hospiles, etc.
- Su limpieza no es frecuente.
- Tiene un bajo costo de construcción y operación.
- Mínimo grado de dificultad en operación y mantenimiento si se cuenta con infraestructura de remoción de lodos.

3.2. Desventajas

- De uso limitado para un máximo de 350 habitantes¹.
- También de uso limitado a la capacidad de infiltración del terreno que permita disponer adecuadamente los efluentes en el suelo.
- Requiere facilidades para la remoción de lodos (bombas, camiones con bombas de vacío, etc.).

Conocido las ventajas y desventajas del tanque séptico, quedará a criterio del ingeniero encargado del proyecto si es conveniente emplear estas unidades en la localidad donde se desea tratar las aguas residuales de uso doméstico.

4. Principios de diseño de tanque séptico

Los principios que han de orientar el diseño de un tanque séptico son los siguientes:

- Prever un tiempo de retención de las aguas servidas, en el tanque séptico, suficiente para la separación de los sólidos y la estabilización de los líquidos.
- Prever condiciones de estabilidad hidráulica para una eficiente sedimentación y flotación de sólidos.
- Asegurar que el tanque sea lo bastante grande para la acumulación de los lodos y espuma.
- Prevenir las obstrucciones y asegurar la adecuada ventilación de los gases.

¹ Norma de Diseño de Tanque Séptico del Reglamento Nacional de Edificaciones.

A continuación se presenta la metodología a seguir para el diseño de un tanque séptico.

5. Diseño de tanque séptico

- a) Periodo de retención hidráulica (PR, en días)

$$PR = 1,5 - 0,3 \log(P \times Q)$$

Donde:

P : Población servida.

Q : Caudal de aporte unitario de aguas residuales, litros/(habitante * día).

El periodo de retención mínimo es de 6 días.

- b) Volumen requerido para la sedimentación (Vs, en m³)

$$Vs = 10^{-3} \times (P \times Q) \times PR$$

- c) Volumen de digestión y almacenamiento de lodos (Vd, en m³)

$$Vd = 70 \times 10^{-3} \times P \times N$$

Donde:

N: Intervalo deseado en años, entre operaciones sucesivas de remoción de lodos.

- d) Volumen de lodos producidos²

La cantidad de lodos producidos por habitante y por año, depende de la temperatura ambiental y de la descarga de residuos de la cocina. Los valores a considerar son:

Clima calido	40 litros/habx año
Clima frío	50 litros/habx año

En caso de descargas de lavaderos u otros aparatos sanitarios instalados en restaurantes y similares, donde exista el peligro de introducir cantidad suficiente de grasa que afecte el buen funcionamiento del sistema de evacuación de las aguas residuales, a los valores anteriores se le adicionara el valor de 20 litros/habx año.

- e) Volumen de natas

Como valor se considera un volumen mínimo de 0,7 m³.

² Especificaciones Técnicas para el diseño de Tanque Séptico (2003). UNATSABAR-CEPIS/OPS.

- f) Profundidad máxima de espuma sumergida (H_e , en m)

$$H_e = \frac{0,7}{A}$$

Donde:

A: Área superficial del tanque séptico en m^2 .

- g) Profundidad libre de espuma sumergida

Distancia entre la superficie inferior de la capa de espuma y el nivel inferior de la Tee de salida o cortina deflectora del dispositivo de salida del tanque séptico, debe tener un valor mínimo de 0,10 m.

- h) Profundidad libre de lodo (H_o , en m)

$$H_o = 0,82 - 0,26 \times A$$

- i) Profundidad mínima requerida para la sedimentación (H_s , en m)

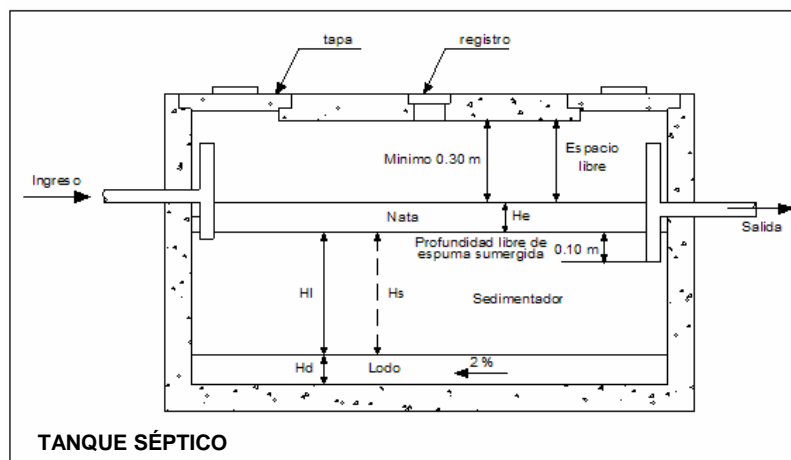
$$H_s = \frac{V_s}{A}$$

- j) Profundidad de espacio libre (H_l , en metros)³

Comprende la superficie libre de espuma sumergida y la profundidad de lodos. Seleccionar el mayor valor, comparando la profundidad del espacio libre mínimo total ($0,1+H_o$) con la profundidad mínima requerida para la sedimentación (H_s).

- k) Profundidad neta del tanque séptico.

La suma de las profundidades de natas, sedimentación, almacenamiento de lodos y la profundidad libre de natas sumergidas.

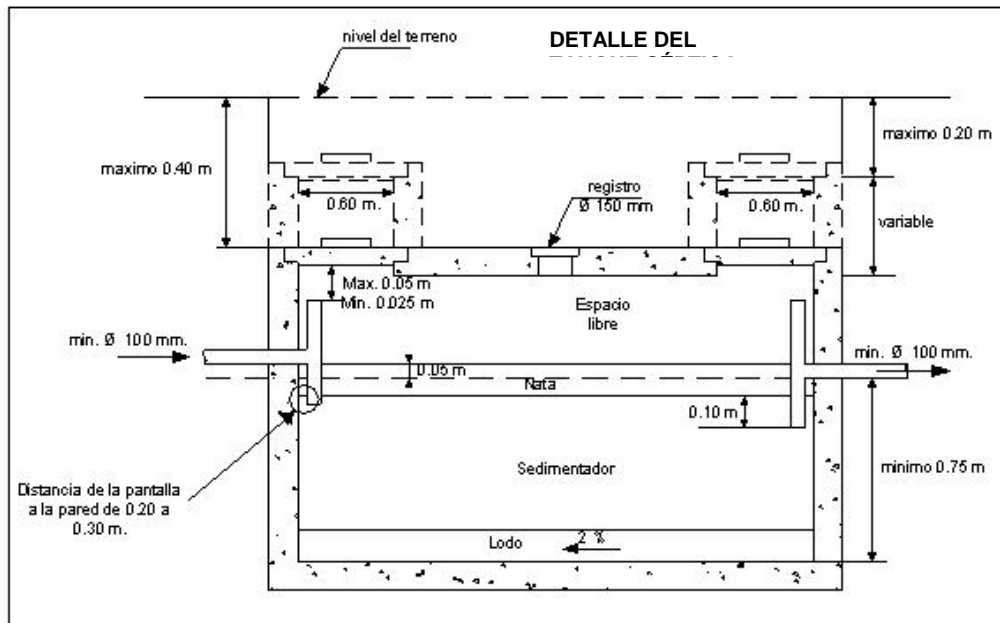


³ Norma de Diseño de Tanque Séptico del Reglamento Nacional de Edificaciones.

6. Dimensiones internas del tanque séptico

Para determinar las dimensiones internas de un tanque séptico rectangular, además de la Norma S090 y de las “Especificaciones técnicas para el diseño de tanque séptico” publicadas por la Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural (UNATSABAR)-CEPIS/OPS-2003, se emplean los siguientes criterios:

- a) Entre el nivel superior de natas y la superficie inferior de la losa de cubierta deberá quedar un espacio libre de 300 mm, como mínimo.
- b) El ancho del tanque deberá ser de 0,60 m, por los menos, ya que ese es el espacio más pequeño en que puede trabajar una persona durante la construcción o las operaciones de limpieza.
- c) La profundidad neta no deberá ser menor a 0,75 m.
- d) La relación entre el largo y ancho deberá ser como mínimo de 2:1.
- e) En general, la profundidad no deberá ser superior a la longitud total.
- f) El diámetro mínimo de las tuberías de entrada y salida del tanque séptico será de 100mm (4”).
- g) El nivel de la tubería de salida del tanque séptico deberá estar situado a 0,05m por debajo de la tubería de entrada.
- h) Los dispositivos de entrada y salida de agua residual al tanque séptico estarán constituidos por Tees o pantallas.
- i) Cuando se usen pantallas, éstas deberán estar distanciadas de las paredes del tanque a no menos de 0,20 m ni mayor a 0,30 m.
- j) La prolongación de los ramales del fondo de las Tees o pantallas de entrada o salida, serán calculadas por la fórmula $(0,47/A+0,10)$.
- k) La parte superior de los dispositivos de entrada y salida deberán dejar una luz libre para ventilación de no más de 0,05 m por debajo de la losa de techo del tanque séptico.
- l) Cuando el tanque tenga más de un compartimiento, las interconexiones entre compartimiento consecutivos se proyectaran de tal manera que evite el paso de natas y lodos.
- m) Si el tanque séptico tiene un ancho W, la longitud del primer compartimiento debe ser 2W y la del segundo W.
- n) El fondo de los tanques tendrá una pendiente de 2% orientada al punto de ingreso de los líquidos.
- o) El techo de los tanques sépticos deberá estar dotado de losas removibles y registros de inspección de 150 mm de diámetro.



7. Consideraciones a un tanque sépticos con compartimentos

- El número de compartimentos no deberá ser mayor a cuatro y cada uno deberá tener un largo de 0,60 m como mínimo.
- El tanque séptico puede estar dividido por tabiques, si el volumen es mayor a 5 m³.
- Cuando el tanque séptico tenga dos o más compartimentos, el primer compartimento deberá tener un volumen entre 50% y 60% de sedimentación, asimismo las subsiguientes compartimentos entre 40% a 50% de volumen de sedimentación⁴.
- En el primer compartimento pueden tener lugar la mayor parte de los procesos de sedimentación y digestión, en cuyo caso sólo pasaran al segundo algunos materiales en suspensión. De este modo cuando llegan repentinamente al tanque séptico grandes cantidades de aguas servidas, si bien la eficiencia de sedimentación se reduce, los efectos son menores en el segundo compartimento.
- En el dibujo de detalla algunas de las dimensiones que se podrían tomar para un tanque séptico con dos compartimentos.

⁴ Especificaciones Técnicas para el diseño de Tanque Séptico. UNATSABAR-CEPIS/OPS.

Capítulo III. Diseño de tanque imhoff y lecho de secado

1. Introducción

El tanque imhoff es una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos.

Para comunidades de 5000 habitantes o menos, los tanques imhoff ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y a digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad, por ese motivo también se les llama tanques de doble cámara.

Los tanques imhoff tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas; sin embargo, para su uso concreto es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y remoción de arena.

El tanque imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimentos:

- Cámara de sedimentación.
- Cámara de digestión de lodos.
- Área de ventilación y acumulación de natas.

Durante la operación, las aguas residuales fluyen a través de la cámara de sedimentación, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables, estos resbalan por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación pasando a la cámara de digestión a través de la ranura con traslape existente en el fondo del sedimentador. El traslape tiene la función de impedir que los gases o partículas suspendidas de sólidos, producto de la digestión, interfieran en el proceso de la sedimentación. Los gases y partículas ascendentes, que inevitablemente se producen en el proceso de digestión, son desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación.

Los lodos acumulados en el digestor se extraen periódicamente y se conducen a lechos de secado, en donde el contenido de humedad se reduce por infiltración, después de lo cual se retiran y dispone de ellos enterrándolos o pueden ser utilizados para mejoramiento de los suelos.

2. Definiciones

- **Afluente:** Líquido que llega a una unidad o lugar determinado, por ejemplo el agua que llega a una laguna de estabilización.
- **Aguas servidas:** Todas las aguas de alcantarilla, ya sean de origen domésticos (aguas de las casas habitación, edificios comerciales, etc.) o industrial, una vez que han sido utilizadas por el hombre.

- **Cámara de digestión:** Unidad de los tanques imhoff, donde se almacenan y digieren los lodos.
- **Cámara de sedimentación:** Unidad del tanque imhoff, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables.
- **Caudal:** Volumen de agua que pasa por un punto dado por unidad de tiempo. Se expresa normalmente en l/seg o m³/seg.
- **Demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.):** Cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la sustancia orgánica, en un tiempo y a una temperatura especificada. Depende enteramente de la disponibilidad de materia utilizable como alimento biológico y de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos durante la oxidación.
- **Deshidratación de lodos:** proceso de remoción del agua contenida en los lodos.
- **Eficiencia:** Relación entre la capacidad real y la teórica total de una unidad o equipo. Usualmente se expresa en %.
- **Efluente:** Líquido que sale de una unidad o lugar determinado, por ejemplo agua que sale de una laguna de estabilización.
- **Infiltración:** Efecto de penetración o infiltración del agua en el suelo.
- **Lecho de lodo:** Lugar donde se deshidratan los lodos estabilizados provenientes del tanque imhoff.
- **Lodos:** Sólidos que se encuentran en el fondo del tanque imhoff y que son evacuados a un lecho de secado.
- **Nata:** Sustancia espesa que se forma sobre el agua almacenada en el tanque imhoff compuesto por residuos grasos y otro tipo de desechos orgánicos e inorgánicos flotantes.
- **pH:** Concentración de iones de hidrógeno.
- **Sólido Sedimentable:** Partícula presente en el agua residual, que tiene la propiedad de precipitar fácilmente.

3. Consideraciones a tener en cuenta

El ingeniero responsable del proyecto, deberá tener en claro las ventajas y desventajas que tiene al emplear el tanque imhoff para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de una población.

3.1 Ventajas

- Contribuye a la digestión de lodo, mejor que en un tanque séptico, produciendo un líquido residual de mejores características.
- No descargan lodo en el líquido efluente, salvo en casos excepcionales.
- El lodo se seca y se evacúa con más facilidad que el procedente de los tanques sépticos, esto se debe a que contiene de 90 a 95% de humedad⁵.
- Las aguas servidas que se introducen en los tanques imhoff, no necesitan tratamiento preliminar, salvo el paso por una criba gruesa y la separación de las arenillas.
- El tiempo de retención de estas unidades es menor en comparación con las lagunas.
- Tiene un bajo costo de construcción y operación.
- Para su construcción se necesita poco terreno en comparación con las lagunas de estabilización.
- Son adecuados para ciudades pequeñas y para comunidades donde no se necesite una atención constante y cuidadosa, y el efluente satisfaga ciertos requisitos para evitar la contaminación de las corrientes.

3.2 Desventajas

- Son estructuras profundas (>6m).
- Es difícil su construcción en arena fluida o en roca y deben tomarse precauciones cuando el nivel freático sea alto, para evitar que el tanque pueda flotar o ser desplazado cuando esté vacío.
- El efluente que sale del tanque es de mala calidad orgánica y microbiológica.
- En ocasiones puede causar malos olores, aun cuando su funcionamiento sea correcto.

Conocidas las ventajas y desventajas del tanque imhoff, quedará a criterio del ingeniero encargado del proyecto si es conveniente emplear esta unidad, en la localidad donde se desea tratar las aguas residuales de uso doméstico.

Cabe resaltar que esta alternativa resulta adecuada en caso no se cuente con grandes áreas de terreno para poder construir un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, como es el caso de las lagunas de estabilización, además de que el tanque imhoff deberá estar instalado alejado de la población, debido a que produce malos olores.

El tanque imhoff elimina del 40 al 50% de sólidos suspendidos y reduce la DBO de 25 a 35%. Los lodos acumulados en el digester del tanque imhoff se extraen periódicamente y se conducen a lechos de secados.

Debido a esta baja remoción de la DBO y coliformes, lo que se recomendaría es enviar el efluente hacia una laguna facultativa para que haya una buena remoción de microorganismos en el efluente.

⁵ Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Negras (1961). Harold E. Babbitt.

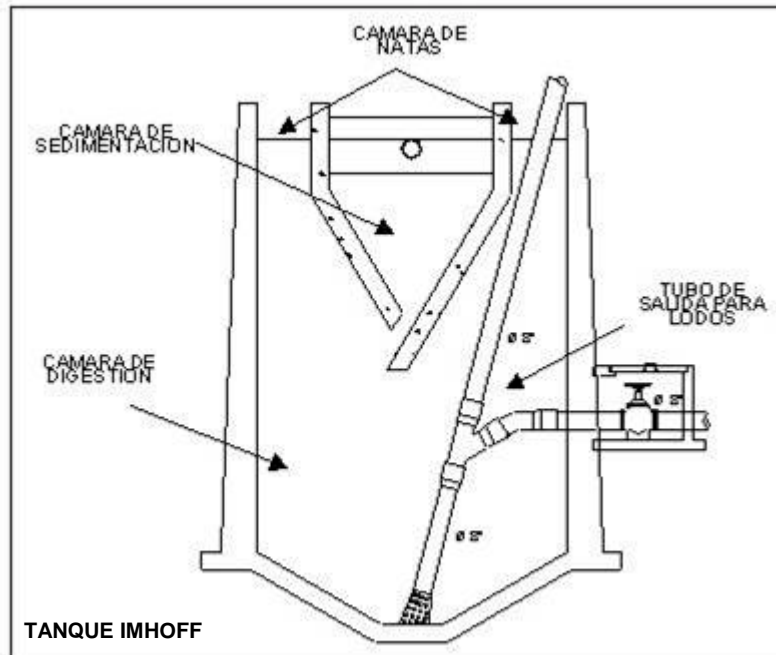
A continuación se presenta la metodología a seguir para el diseño del tanque imhoff por cada componente de éste, incluido el lecho de secado:

4. Diseño de tanque imhoff

Para el dimensionamiento de tanque imhoff se tomarán en consideración los criterios de la Norma S090 “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales” del Reglamento Nacional de Construcción.

El tanque imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimientos:

- Cámara de sedimentación.
- Cámara de digestión de lodos.
- Área de ventilación y cámara de natas.



Además de estos compartimientos se tendrá que diseñar el lecho de secados de lodos.

4.1 Diseño del sedimentador

- ✓ Caudal de diseño, m³/hora

$$Q_p = \frac{\text{Poblacion} \times \text{Dotacion}}{1000} \times \% \text{Contribucion}$$

Dotación, en litro/hab/día.

✓ **Área del sedimentador (A_s , en m^2).**

$$A_s = \frac{Qp}{C_s}$$

Donde:

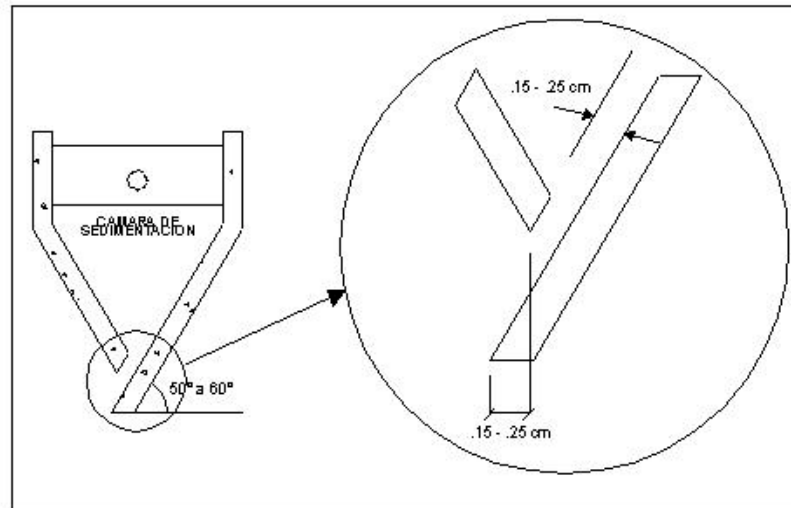
C_s : Carga superficial, igual a $1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{hora})$.

✓ **Volumen del sedimentador (V_s , en m^3).**

$$V_s = Qp * R$$

R : Periodo de retención hidráulica, entre 1,5 a 2,5 horas (recomendable 2 horas).

- El fondo del tanque será de sección transversal en forma de V y la pendiente de los lados respecto a la horizontal tendrá de 50° a 60° .
- En la arista central se debe dejar una abertura para paso de los sólidos removidos hacia el digester, esta abertura será de 0,15 a 0,20 m.
- Uno de los lados deberá prolongarse, de 15 a 20 cm, de modo que impida el paso de gases y sólidos desprendidos del digester hacia el sedimentador, situación que reducirá la capacidad de remoción de sólidos en suspensión de esta unidad de tratamiento.



✓ **Longitud mínima del vertedero de salida (L_v , en m).**

$$L_v = \frac{Q_{\max}}{C_{hv}}$$

Donde:

Q_{\max} : Caudal máximo diario de diseño, en m^3/dia .

C_{hv} : Carga hidráulica sobre el vertedero, estará entre 125 a $500 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{dia})$, (recomendable 250).

4.2 Diseño del digestor

✓ **Volumen de almacenamiento y digestión (Vd, en m³).**

Para el compartimiento de almacenamiento y digestión de lodos (cámara inferior) se tendrá en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 1

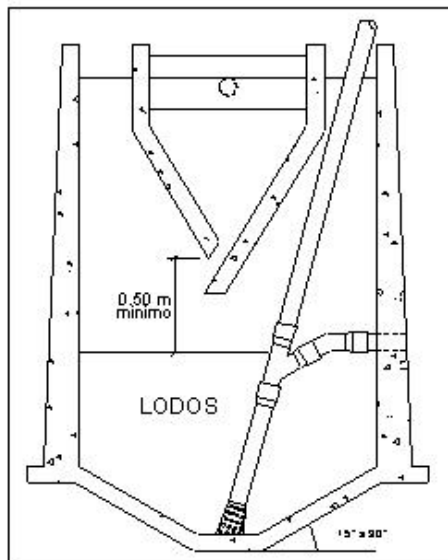
Temperatura °C	Factor de capacidad relativa (fcr)
5	2,0
10	1,4
15	1,0
20	0,7
>25	0,5

$$Vd = \frac{70 * P * fcr}{1000}$$

Donde:

fcr : factor de capacidad relativa, ver tabla 1.

P : Población.



- El fondo de la cámara de digestión tendrá la forma de un tronco de pirámide invertida (tolva de lodos), para facilitar el retiro de los lodos digeridos.
- Las paredes laterales de esta tolva tendrán una inclinación de 15° a 30° con respecto a la horizontal.
- La altura máxima de los lodos deberá estar 0,50 m por debajo del fondo del sedimentador.

✓ **Tiempo requerido para digestión de lodos**

El tiempo requerido para la digestión de lodos varía con la temperatura, para esto se empleará la tabla 2.

Tabla 2

Temperatura °C	Tiempo de digestión en días
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

✓ **Frecuencia del retiro de lodos**

Los lodos digeridos deberán retirarse periódicamente, para estimar la frecuencia de retiros de lodos se usarán los valores consignados en la tabla 2.

La frecuencia de remoción de lodos deberá calcularse en base a estos tiempo referenciales, considerando que existirá una mezcla de lodos frescos y lodos digeridos; estos últimos ubicados al fondo del digestor. De este modo el intervalo de tiempo entre extracciones de lodos sucesivas deberá ser por lo menos el tiempo de digestión a excepción de la primera extracción en la que se deberá esperar el doble de tiempo de digestión.

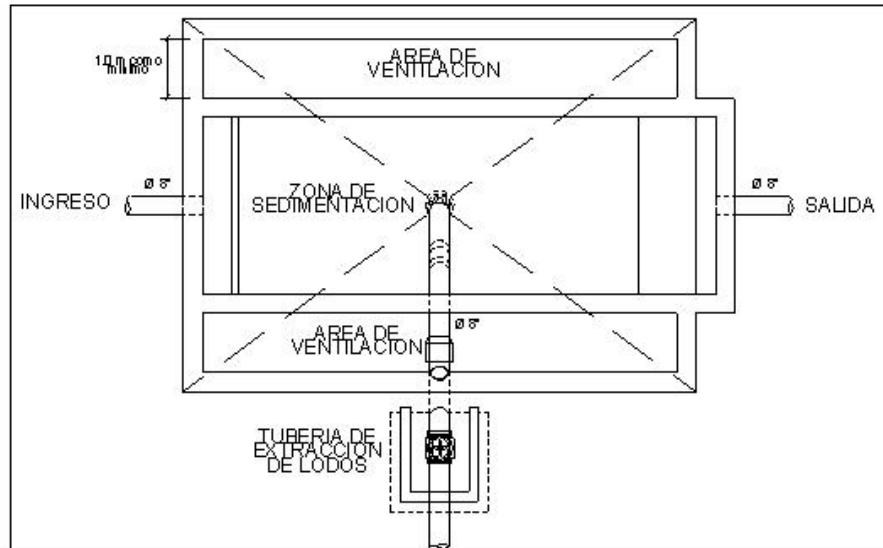
4.3 Extracción de lodos

- El diámetro mínimo de la tubería para la remoción de lodos será de 200 mm y deberá estar ubicado 15 cm por encima del fondo del tanque.
- Para la remoción se requerirá de una carga hidráulica mínima de 1,80 m.

4.4 Área de ventilación y cámara de natas

Para el diseño de la superficie libre entre las paredes del digestor y el sedimentador (zona de espuma o natas) se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- El espaciamiento libre será de 1,0 m como mínimo.
- La superficie libre total será por lo menos 30% de la superficie total del tanque.
- El borde libre será como mínimo de 0,30 cm.



4.5 Lechos de secados de lodos

Los lechos de secado de lodos son generalmente el método más simple y económico de deshidratar los lodos estabilizados (lodos digeridos), lo cual resulta lo ideal para pequeñas comunidades.

- ✓ **Carga de sólidos que ingresa al sedimentador (C, en Kg de SS/día).**

$$C = Q * SS * 0.0864$$

Donde:

SS: Sólidos en suspensión en el agua residual cruda, en mg/l.

Q: Caudal promedio de aguas residuales.

A nivel de proyecto se puede estimar la carga en función a la contribución per cápita de sólidos en suspensión, de la siguiente manera:

$$C = \frac{\text{Población} * \text{contribución per cápita}(\text{grSS} / \text{hab} * \text{día})}{1000}$$

En las localidades que cuentan con el servicio de alcantarillado, la contribución per cápita se determina en base a una caracterización de las aguas residuales.

Cuando la localidad no cuenta con alcantarillado se utiliza una contribución per cápita promedio de 90 gr.SS/(hab*día).

Masa de sólidos que conforman los lodos (Msd, en Kg SS/día).

$$Msd = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C)$$

✓ **Volumen diario de lodos digeridos (Vld, en litros/día).**

$$Vld = \frac{Msd}{\rho_{lodo} * (\%de\ sólidos / 100)}$$

Donde:

ρ_{lodo} : Densidad de los lodos, igual a 1,04 Kg/l.

% de sólidos: % de sólidos contenidos en el lodo, varía entre 8 a 12%.

✓ **Volumen de lodos a extraerse del tanque (Vel, en m³).**

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000}$$

Donde:

Td: Tiempo de digestión, en días (ver tabla 2).

✓ **Área del lecho de secado (Als, en m²).**

$$Als = \frac{Vel}{Ha}$$

Donde:

Ha: Profundidad de aplicación, entre 0,20 a 0,40m

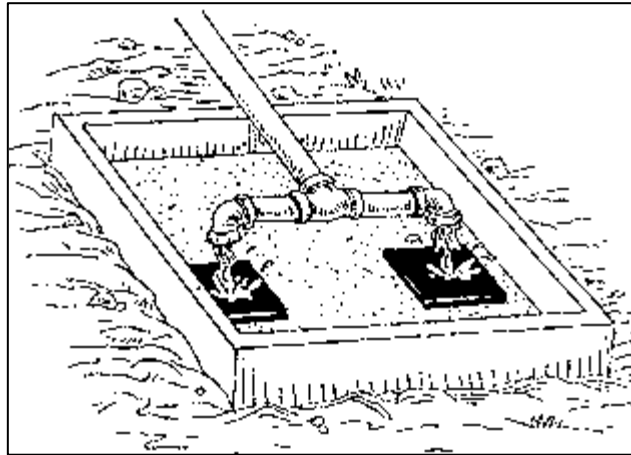
- El ancho de los lechos de secado es generalmente de 3 a 6 m., pero para instalaciones grandes puede sobrepasar los 10 m.

Alternativamente se puede emplear la siguiente expresión para obtener las dimensiones unitarias de un lecho de secado⁶:

$$\frac{\text{Rendimiento volumétrico del digestor}(m^3 / \# \text{ personas})}{\text{Número de aplicaciones(años)} \times \text{profundidad de inundación}(m)} = \frac{m^2 \text{ de lecho}}{\text{habitan te}}$$

Considerando el numero de aplicaciones al año, verificar que la carga superficial de sólidos aplicado al lecho de secado se encuentre entre 120 a 200 Kg de sólidos/(m²*año).

⁶ Tratamiento de Agua Negras y Desechos Industriales-George E. Barnes.

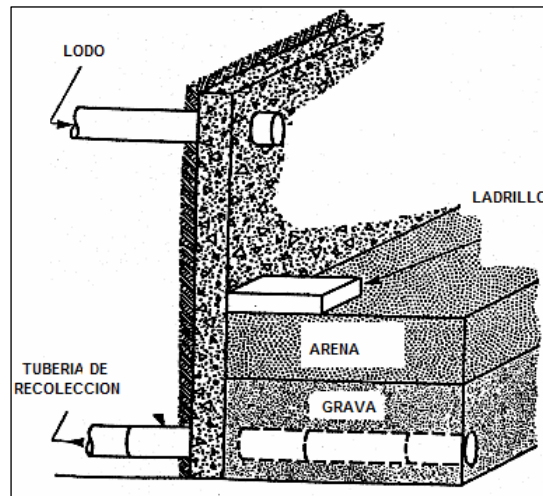


Lecho de secado

4.6 Medio de Drenaje

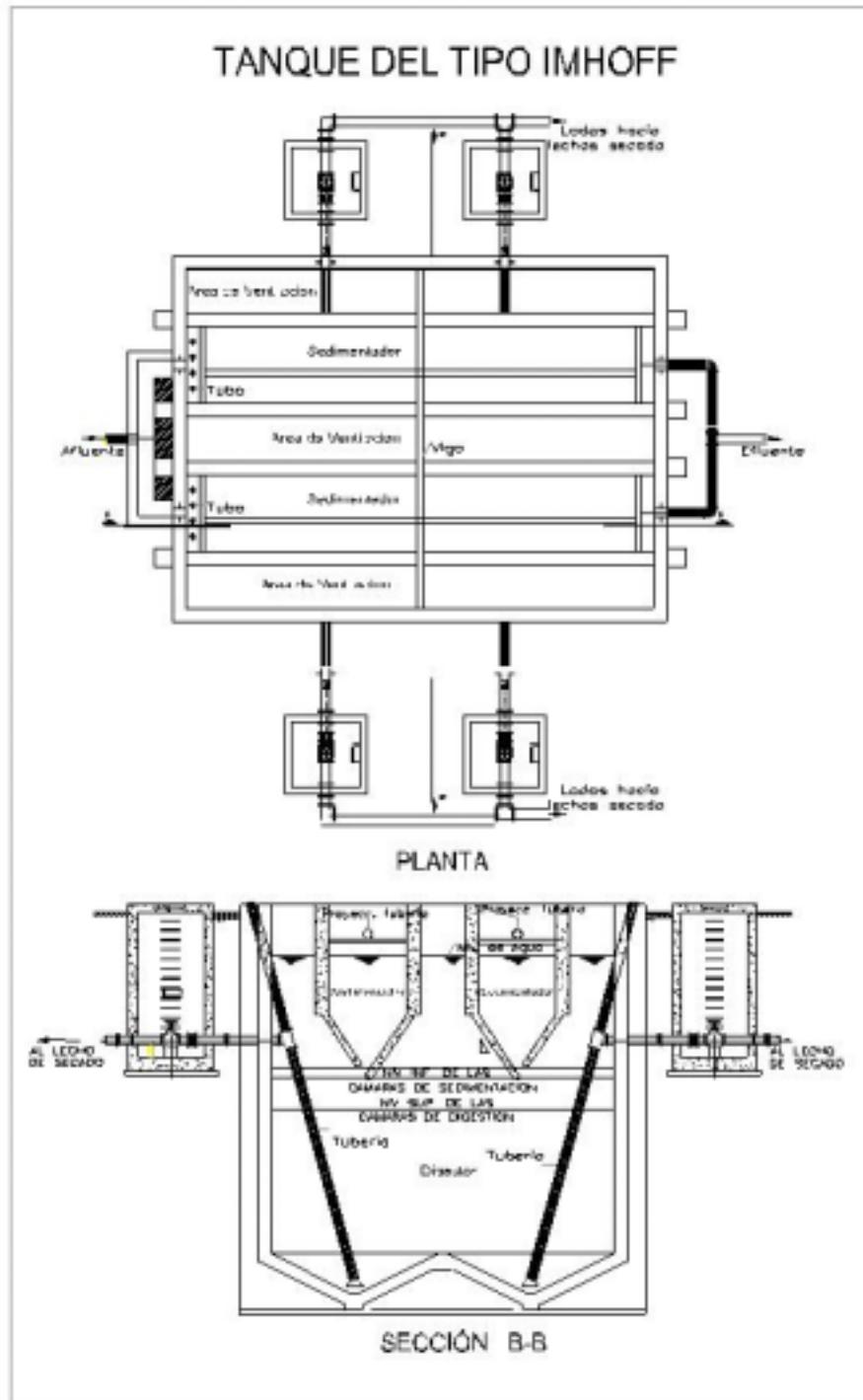
El medio de drenaje es generalmente de 0,30 de espesor y debe tener los siguientes componentes:

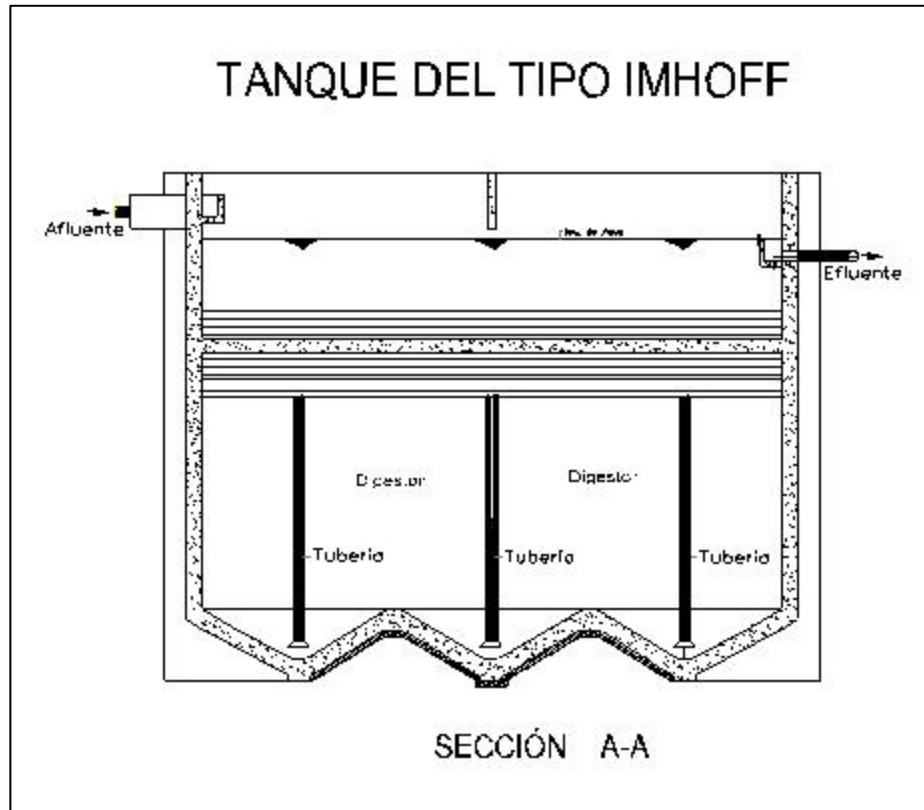
- El medio de soporte recomendado está constituido por una capa de 15 cm. formada por ladrillos colocados sobre el medio filtrante, con una separación de 2 a 3 cm. llena de arena.
- La arena es el medio filtrante y debe tener un tamaño efectivo de 0,3 a 1,3 mm., y un coeficiente de uniformidad entre 2 y 5.
- Debajo de la arena se deberá colocar un estrato de grava graduada entre 1,6 y 51 mm (1/6" y 2") de 0,20 m de espesor.



Vista del lecho de secado⁷

⁷ Exposición de la Ing. Teresa Lampoglia - Tratamiento de Lodos – Noviembre 2004 - Lima.





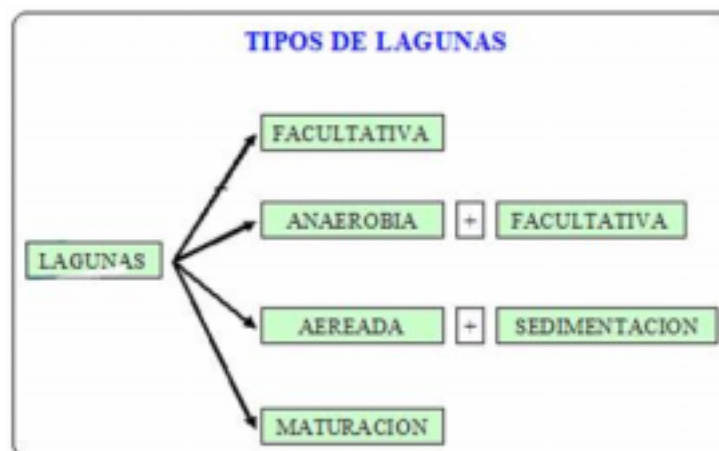
Capítulo IV. Diseño de laguna de estabilización

1. Introducción

Una laguna de estabilización es una estructura simple para embalsar aguas residuales con el objeto de mejorar sus características sanitarias. Las lagunas de estabilización se construyen de poca profundidad (2 a 4 m) y con períodos de retención relativamente grandes (por lo general de varios días).

Cuando las aguas residuales son descargadas en lagunas de estabilización se realizarán en las mismas, en forma espontánea, un proceso conocido como autodepuración o estabilización natural, en el que ocurren fenómenos de tipo físico, químico, bioquímico y biológico. Este proceso se lleva a cabo en casi todas las aguas estancadas con alto contenido de materia orgánica putrescible o biodegradable.

Los parámetros más utilizados para evaluar el comportamiento de las lagunas de estabilización de aguas residuales y la calidad de sus efluentes son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que caracteriza la carga orgánica; y el número más probable de coliformes fecales (NMP CF/100ml), que caracteriza la contaminación microbiológica. Además tienen importancia los sólidos totales sedimentables, en suspensión y disueltos.

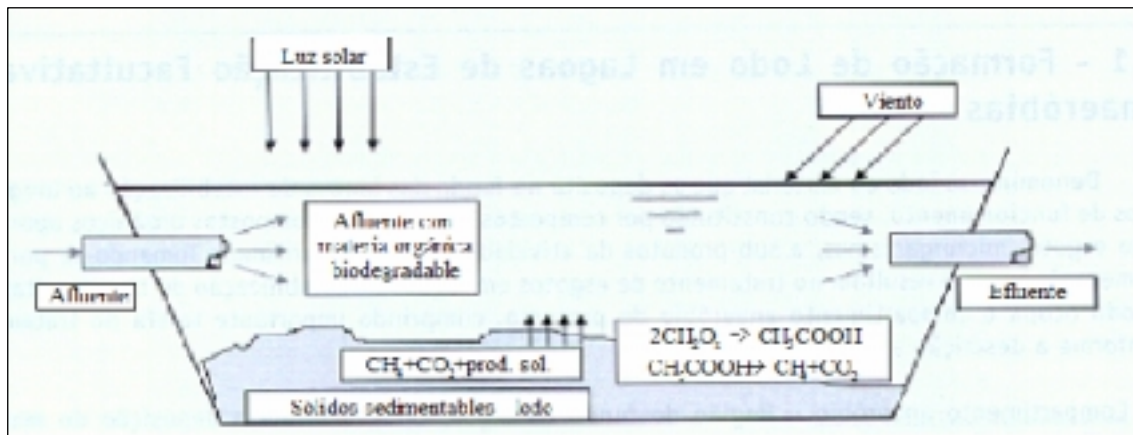


Las lagunas que reciben agua residual cruda son lagunas **primarias**. Las lagunas que reciben el efluente de una primaria se llaman **secundarias**; y así sucesivamente las lagunas de estabilización se pueden llamar **terciarias, cuaternarias, quinquenarias**, etc. A las lagunas de grado más allá del segundo también se les suele llamar lagunas de acabado, maduración o pulimento. Siempre se deben construir por lo menos dos lagunas primarias (en paralelo) con el objeto de que una se mantenga en operación mientras se hace la limpieza de los lodos de la otra.

El proceso que se lleva a cabo en las lagunas facultativas es diferente del que ocurre en las lagunas anaerobias. Sin embargo, ambos son útiles y efectivos en la estabilización de la materia orgánica y en la reducción de los organismos patógenos originalmente presentes en las aguas residuales. La estabilización de la materia orgánica se llevará a cabo a través

de la acción de organismos aerobios cuando hay oxígeno disuelto; éstos últimos aprovechan el oxígeno originalmente presente en las moléculas de la materia orgánica que están degradando. Existen algunos organismos con capacidad de adaptación a ambos ambientes, los cuales reciben el nombre de facultativos.

La estabilización de la materia orgánica presente en las aguas residuales se puede realizar en forma aeróbica o anaeróbica según haya o no la presencia de oxígeno disuelto en el agua.



1.1 *Proceso aerobio*

El proceso aerobio se caracteriza porque la descomposición de la materia orgánica se llevará a cabo en una masa de agua que contiene oxígeno disuelto. En este proceso, en el que participan bacterias aerobias o facultativas, se originan compuestos inorgánicos que sirven de nutrientes a las algas, las cuales a su vez producen más oxígeno que facilita la actividad de las bacterias aerobias. Existe pues una simbiosis entre bacteria y algas que facilita la estabilización aerobia de la materia orgánica. El desdoblamiento de la materia orgánica se lleva a cabo con intervención de enzimas producidas por las bacterias en sus procesos vitales.

A través de estos procesos bioquímicos en presencia de oxígeno disuelto las bacterias logran el desdoblamiento aerobio de la materia orgánica. El oxígeno consumido es parte de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Las algas logran, a través de procesos inversos a los anteriores, en presencia de la luz solar, utilizar los compuestos inorgánicos para sintetizar materia orgánica que incorporan a su protoplasma. A través de este proceso, conocido como fotosíntesis, las algas generan gran cantidad de oxígeno disuelto.

Como resultado final, en el estrado aerobio de una laguna facultativa se lleva a cabo la estabilización de la materia orgánica putrescible (muerta) originalmente presente en las aguas residuales, la cual se transforma en materia orgánica (viva) incorporada protoplasma de las algas. En las lagunas de estabilización el agua residual no se clarifica como en las plantas de tratamiento convencional pero se estabiliza, pues las algas son materia orgánica viva que no ejerce DBO.

1.2 *Proceso anaerobio*

Las reacciones anaerobias son más lentas y los productos pueden originar malos olores. Las condiciones anaerobias se establecen cuando el consumo de oxígeno disuelto es mayor que la incorporación del mismo a la masa de agua por la fotosíntesis de las algas y el oxígeno disuelto y que la laguna se torne de color gris oscuro. El desdoblamiento de la materia orgánica sucede en un forma más lenta y se generan malos olores por la producción de sulfuro de hidrógeno. En la etapa final del proceso anaerobio se presentan las cinéticas conocidas como acetogénica y metanogénica.

1.3 *Procesos en las lagunas de estabilización facultativas*

Las capas de la laguna facultativa (aerobia y anaerobia) no son constantes, estas interactúan entre si, dependen de la radiación solar. Durante el día la capa aerobia es la que predomina en la laguna y durante la noche la capa anaerobia.

Las algas tienen un rol sumamente importante en el proceso biológico de las lagunas de estabilización, pues son los organismos responsable de la producción de oxígeno molecular, elemento vital para las bacterias que participan en la oxidación bioquímica de la materia orgánica.

La presencia de las algas en niveles adecuados, asegura el funcionamiento de la fase aerobia de las lagunas, cuando se pierde el equilibrio ecológico se corre con el riesgo de producir el predominio de la fase anaerobia, que trae como consecuencia una reducción de la eficiencia del sistema.

En las lagunas primarias facultativas predominan las algas flageladas, (Euglena, Pyrobotrys, Chlamydomonas), en lagunas secundarias se incrementa el número de géneros y la densidad de algas, predominan las algas verdes (Chlorella, Scenedesmus). En lagunas terciarias se presenta un mayor número de géneros de algas, entre las cuales predominan las algas verdes (Chlorella, Scenedesmus, Ankistrodesmus, Microactiniums). En muchos casos, se ha observado la predominancia de algas verdes-azules (Rao, 1980, Uhlman 1971). La predominancia de géneros varía según la temperatura estacional.

El zooplankton de las lagunas de estabilización está conformado por cuatro Grupos Mayores; ciliados, rotíferos, copépodos, y cladoceros. Ocasionalmente se presentan amebas de vida libre, ostracodos, ácaros, turbelarios, larvas y pupas de dípteros. La mayoría de individuos de estos grupos sólo están en las lagunas de estabilización durante algún estadio evolutivo, raramente tienen importancia cualitativa.

Los rotíferos predominan durante los meses de verano, dentro de este grupo, el género Brachionus se presenta con mayor frecuencia, siendo el más resistente aún en condiciones extremas. Cuando el número de rotíferos se incrementa a niveles superiores a los normales se observa un efecto negativo en la calidad del agua, ocasionando un aumento de los niveles de amonio, ortofosfato soluble, nitratos, y nitritos. Asimismo, la presencia de un gran número de estos organismos, que consumen algas, disminuye la cantidad de

oxígeno disuelto en el agua a niveles de riesgo. Los géneros predominantes de cladoceros son Moína y Daphnia y en los ciliados son Pleuronema y Vorticella.

1.4 Factores determinantes en el tratamiento biológico

- **Temperatura:** A mayor temperatura, mayor será el crecimiento de microorganismos y viceversa.
- **Ph:** A ph en un rango bajo, es decir ácido, va traer como consecuencia que los microorganismos no sobrevivan.
- **Coordinación microorganismos-materia orgánica:** Se tiene que cuidar el exceso de carga (DBO), porque originaría un mal funcionamiento de la laguna.
- **Inhibidores:** Presencia de metales pesados, sulfatos, pesticidas, etc, ocasionan un decrecimiento de bacterias.
- **Nutrientes:** Principales nutrientes son el nitrógeno y el fósforo. Cuidar que no estén en exceso porque puede producir la eutroficación.

2. Definiciones

- **Aerobio:** Condición en la cual hay presencia de oxígeno.
- **Afluente:** Líquido que llega a una unidad o lugar determinado, por ejemplo el agua que llega a una laguna de estabilización.
- **Aguas servidas:** Todas las aguas de alcantarilla, ya sean de origen doméstico (aguas de las casas habitación, edificios comerciales, etc.) o industrial, una vez que han sido utilizadas por el hombre.
- **Anaerobio:** Condición en la cual no hay presencia de oxígeno.
- **Bacterias:** Grupo de organismos unicelulares con cromosoma bacteriano único, división binaria y que intervienen en los procesos de estabilización de la materia orgánica.
- **Carga superficial:** Cantidad de carga que se le puede aplicar a un área.
- **Caudal:** Volumen de agua que pasa por un punto dado por unidad de tiempo. Se expresa normalmente en l/seg o m³/seg.
- **Coliformes:** Bacterias gram positivas no esporuladas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a 35±0.5°C (coliformes totales).
- **Demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.):** Cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la sustancia orgánica, en un tiempo y a una temperatura especificada. Depende enteramente de la disponibilidad de materia utilizable como alimento biológico y de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos durante la oxidación.

- **Eficiencia:** Relación entre la capacidad real y la teórica total de la unidad o equipo. Usualmente se expresa en %.
- **Efluente:** Líquido que sale de una unidad o lugar determinado, por ejemplo agua que sale de una laguna de estabilización.
- **Infiltración:** Efecto de penetración o infiltración del agua en el suelo.
- **Lodos:** Sólidos que se encuentran en el fondo de la laguna de estabilización.
- **Nata:** Sustancia espesa que se forma sobre el agua almacenada en la laguna de estabilización, y compuesto por residuos grasos y otro tipo de desechos orgánicos e inorgánicos flotantes.
- **Periodo de retención:** Tiempo teórico que tarda una partícula que entra a una unidad en salir de ella. Equivale al volumen de la unidad dividido por el caudal, y se expresa en unidades de tiempo.
- **pH:** Concentración de iones hidrógeno.

3. Consideraciones tener en cuenta

El ingeniero responsable del proyecto, deberá tener en claro las ventajas y desventajas que tiene el emplear las lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de una población, antes de decidir emplear estas unidades de tratamiento.

3.1 *Ventajas*

- Pueden recibir y retener grandes cantidades de agua residual, soportando sobrecargas hidráulicas y orgánicas con mayor flexibilidad, comparativamente con otros tratamientos.
- Formación de biomasa más efectiva y variada que en los procesos de tratamiento con tanque séptico y tanque imhoff.
- No requieren de instalaciones complementarias para la producción de oxígeno. El mismo se produce en forma natural dentro del sistema.
- Debido a los tiempos de retención prolongados y a los mecanismos del proceso, son sistemas altamente eficaces para la remoción de bacterias, virus y parásitos, comparativamente con otros tratamientos.
- En las lagunas no hay necesidad de desinfección con cloro. Aquí la desinfección es natural.
- Mínimo mantenimiento.
- No requiere de personal calificado.

3.2 *Desventajas*

- Requieren de grandes áreas de terreno para su implantación.
- Es un sistema sensible a las condiciones climáticas.
- Puede producir vectores.
- No permite modificaciones en las condiciones de proceso.

Conocido las ventajas y desventajas de las lagunas de estabilización, quedará a criterio del ingeniero encargado del proyecto si es conveniente emplear esta unidad en la localidad donde se desea tratar las aguas residuales de uso doméstico.

A continuación se presenta la metodología a seguir para el diseño de lagunas de estabiización facultativas:

4. **Diseño de la laguna facultativa**

Para el dimensionamiento de lagunas facultativas se tomarán en consideración los criterios de la Norma S090 “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales” del Reglamento Nacional de Construcción.

a) **Caudal de diseño (Q_p , en $m^3/día$)**

$$Q_p = \frac{Población \times Dotación}{1000} \times \%Contribución$$

Dotación, en litro/hab/día.

b) **Carga orgánica (C , en $KgDBO/día$)**

$$C = \frac{Población \times Contribución\text{per cápita}(gr.DBO / habxdía)}{1000}$$

$$C = Q_p \times DBO_5 \times 0.0864$$

Q_p , en litros/segundo

c) **Condición temperatura vs temperatura del agua**

$$T^\circ\text{agua} = T^\circ\text{amb} \pm 1^\circ\text{C}$$

Si $T^\circ < 25^\circ\text{C}$

$$T^\circ\text{agua} = T^\circ\text{amb} + 1^\circ\text{C}$$

Si $T^\circ > 25^\circ\text{C}$

$$T^\circ\text{agua} = T^\circ\text{amb} - 1^\circ\text{C}$$

d) Carga superficial, KgDBO/Haxdía

La carga de diseño para las lagunas facultativas se determinará con cualquiera de las siguientes expresiones:

✓ **Norma de saneamiento S090 - Reglamento Nacional de Construcciones**

$$CS_{diseño} = 250 \times 1,05^{(T-20)}$$

Donde:

Cs es la carga superficial de diseño en Kg DBO/(haxdía)

T es la temperatura del agua promedio del mes mas frío en °C

✓ **CEPIS – Yanez⁸.**

$$CS_{diseño} = 357.4 \times 1.085^{(T-20)}$$

A criterio del proyectista quedará qué expresión emplear para el diseño de la laguna.

e) Área de la laguna (Área, en Ha)

$$Área = \frac{Carga}{CS_{diseño}}$$

f) Área de cada laguna

$$Ac/laguna = \frac{Area}{n}$$

n: Número de lagunas

g) Relación largo/ancho de la Laguna

$$\frac{L}{W} = 2 \text{ a } 3$$

h) Profundidad de la laguna (Z, en m)

De 1,5 – 2,5 metros

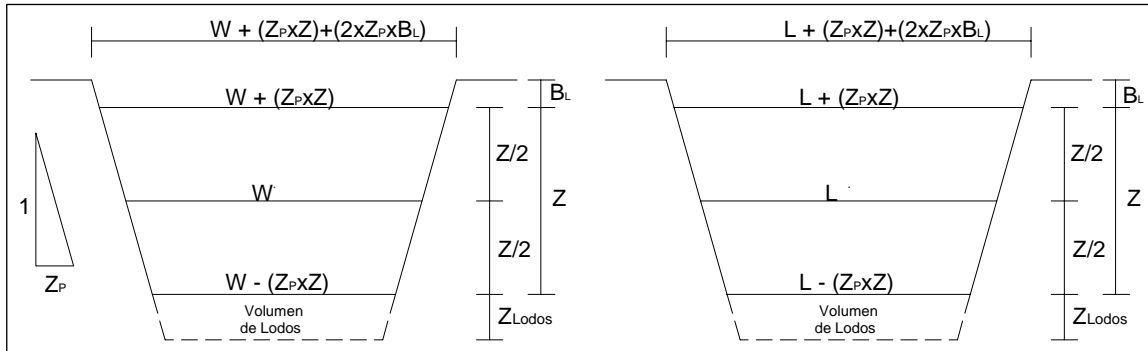
i) Talud (Zp)

De 1,5 a 3.

j) Borde libre (BL, en ,m)

Como mínimo 0,5 m.

⁸ "Reducción de Organismos Patógenos y Diseño de Lagunas de Estabilización en Países en Desarrollo". Yanez F. – CEPIS/OPS - 1984.



k) Volumen de lodos (Vlodos, en m³)

$$V_{lodos} = \frac{Pob \times Ta \times N}{1000}$$

Pob: Población.

Ta: Tasa de acumulación de lodos, de 100 a 120 litros/habx año.

N: Periodo de limpieza, de 5 a 10 años.

Con el volumen se calcula la profundidad de los lodos.

l) Altura de lodo (Zlodos, en m)

$$Z_{lodos} = \frac{V_{lodos}}{A_f}$$

Af: área del fondo de la laguna, en m.

m) Periodo de retención, días

$$PR_{real} = PR_{teorico} \times Fch$$

Fch: factor de corrección hidráulica

Entonces

$$PR_{teorico} = \frac{Volumen}{Q_e}$$

Qe: Caudal promedio menos el caudal de evaporación e infiltración que se pierde durante el proceso.

El periodo de retención debe ser mayor a 10 días para garantizar una remoción del 99.99% de parásitos.

Esta metodología permite diseñar las dimensiones y saber el tiempo de retención que va a tener la laguna proyectada, pero para saber si se necesita dimensionar otra laguna para tratar el efluente, la primera se tendrá que calcular un valor estimado de la remoción de la DBO y de los coliformes fecales que se da en la laguna y compararlo con los valores que están estipulados en las normas de la ley general de aguas, acerca de la calidad del agua del efluente la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Para tener una predicción acerca de la remoción de los coliformes fecales en la laguna se empleará las siguientes ecuaciones que provienen de la Ley de Chick⁹.

n) Cálculo de factor de dispersión (d)

Las lagunas de estabilización trabajan a mezcla completa y no a flujo a pistón, si éste fuera el caso el valor de **d** sería cero; ellas trabajan bajo flujo disperso y a través de la ecuación de Saenz podemos calcularlo.

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

W,L,Z: dimensiones de la laguna.

R: periodo de retención de la laguna.

T: temperatura del agua, en °C.

El valor de “d” debe ser menor de 2.

o) Calculo de la constante “a”

Para el cálculo de esta constante se utiliza la fórmula de Wehner & Wilhelm y simplificada por Thirimurthi.

$$a = \sqrt{(1 + 4 \times K_b \times R \times d)}$$

La constante de la razón de remoción K_b se calculará a través de las siguientes expresiones:

✓ **Norma de Saneamiento S090 - Reglamento Nacional de Construcciones**

$$K_b = K_{20} \times 1.05^{(T-20)}$$

Coefficiente de mortalidad bacterino (neto) será adoptado entre el intervalo de 0,6 a 1,0 l/d para 20°C.

⁹ “Lagunas de estabilización y otros sistemas simplificados para el tratamiento de aguas residuales”-1985.
Ing. Rodolfo Sanz Forero – CEPIS/OPS.

Donde

K_b es el coeficiente de mortalidad neto a la temperatura del agua T promedio del mes mas frio, en °C.

K_{20} es el coeficiente de mortalidad neta a 20°C.

✓ **CEPIS – Saenz¹⁰ y Yanez¹¹.**

$$K_b = 0.841 \times 1.07^{(T-20)}$$

El encargo del proyecto decidirá cual de las expresiones emplear de acuerdo a su criterio.

p) Coliformes en el efluente, N

Una vez calculado las constantes anteriores, se reemplazan en la ecuación de Wehner & Wilhelm y simplificada por Thirimurthi¹². Todo esto parte de la Ley de Chick.

$$N = \frac{No \times 4 \times a \times e^{((1-a)/2d)}}{(1+a)^2}$$

No: concentración de coliformes fecales con que ingresa a la laguna el agua residual.

q) Remoción de la DBO

Se sigue la misma metodología que se empleó para los colimes fecales, el valor de la constante de razón de remoción K_b para 20°C se encuentra de 0,2 – 0,3 día⁻¹.

$$K_b = K_{20} \times 1.05^{(T-20)}$$

Además se deben conocer los factores de ajustes para una laguna de estabilización que son:

- Factor de corrección hidráulica (Fch).
- Debido al efecto de la posición relativa de las estructuras de entrada y salida, y al diseño de las mismas, el "factor de corrección hidráulica" (Fch) tiene en la práctica un valor entre 0,3 y 0,8.
- Factor de características de sedimentación (Fcs).
- El valor de este factor varía entre 0,5 y 0,8 en lagunas primarias; y está muy cerca de 1,00 en las lagunas secundarias y de acabado.
- Factor intrínscica de las algas (Fia).

¹⁰ "Lagunas de estabilización y otros sistemas simplificados para el tratamiento de aguas residuales" - Ing. Rodolfo Saenz Forero – CEPIS/OPS - 1985

¹¹ "Reducción de Organismos Patógenos y Diseño de Lagunas de Estabilización en Países en Desarrollo". Yanez F. – CEPIS/OPS - 1984.

¹² "Predicción de la Calidad del Efluente en Lagunas de Estabilización". Ing. Rodolfo Saenz Forero – CEPIS/OPS – 1992.

- Las algas que mueren en las lagunas ejercen una DBO que debe ser tomada en cuenta agregando el valor Fia al lado derecho de la ecuación que se utilizará para calcular la DBO en efluente. El valor de Fia varía entre 0 y 1,2 correspondiendo los valores bajos a lagunas primarias y los altos a lagunas de maduración.
- Se tendrá que conocer la DBO con que ingresa el agua residual a la laguna, en caso no se conosca se puede calcular una de DBO teórica de la siguiente forma:

$$DBO_{teorica} = \frac{Contr.percapita}{(Dotacion \times \%Contr.al.desague)} \times 1000$$

La $DBO_{soluble}$ se obtendrá multiplicándole el factor de características de sedimentación (Fcs) a la $DBO_{teorica}$ obtenida.

$$DBO_{soluble} = Lo = DBO_{teorica} \times Fcs$$

Una vez obtenido, se reemplazará en la siguiente ecuación:

$$L = \frac{Lo \times 4 \times a \times e^{((1-a)/2d)}}{(1+a)^2} + Lo \times Fia$$

Lo: DBO a la entrada

Con los valores de N y L, se puede comparar con los de la norma de la ley general de aguas para saber si el efluente se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles.

En caso fuese necesario dimensionar otra laguna, es decir que los valores no cumplen con las normas estipuladas en la ley general de aguas, se tendría que seguir la metodología siguiente para el dimensionamiento de otra laguna en serie, a la cual generalmente se le conoce como laguna secundaria o de maduración.

- Asumir la profundidad de la laguna, generalmente es 1 m.
- Las incognitas L y W (largo y ancho de la laguna).
- El periodo de retención, la constante de dispersion "d" y la constante "a" se ponen en función de L y W.
- La relación L/W se encuentra de 2 a 6 para una laguna de maduración.
- Todo se deja en función de una variable, ya sea el L o el W.
- Una vez que se tiene d, a y el periodo de retención en función de una variable, se empezará a darle valores a la variable, se obtendrán valores de R, d y a, estos se reemplazarán en la ecuación que se utilizará para predecir el número de coliformes a la salida de la laguna para saber si cumple con la norma o no, en caso no sea así, se le sigue dando valores hasta encontrar el valor que permita cumplir con las normas.

- Siempre deberá procurarse que los valores de coliformes y DBO se encuentren lo mas cercanos a los límites máximos permisibles, debido a que cuanto más alejado se encuentre el valor, mayor será el tamaño de la laguna, lo cual encarecerá más el costo de la obra, por los costos de movimientos de tierra.

5. Bibliografía

- Water for the World, “Designing Septic Tanks”, technical NOTE N°SAN 2.D.1, Washington D.C., A.I.D. 1982.
- Reglamento nacional de construcciones. Norma de Saneamiento S.090 “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales”. Edición Enero de 1997.
- Sáenz Forero, Rodolfo, “Consideraciones en relación con el uso de lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales”.
- Harol E. Babbitt, Profesor Emerito de Ing. Sanitaria en la Universidad de Illinois, “Alcantarillado y tratamiento de Aguas Negras”, año 1961.
- Gastolum Ramos, Enrique, “Teoría de los procesos de tanque imhoff”.
- Ing. Saenz Forero, Rodolfo – CEPIS/OPS, “Predicción de la Calidad del Efluente en Lagunas de Estabilización”.
- Yanez F. – CEPIS/OPS – 1984, "Reducción de Organismos Patógenos y Diseño de Lagunas de Estabilización en Países en Desarrollo".
- Ing. Rodolfo Saenz Forero – CEPIS/OPS – 1985, “Lagunas de estabilización y otros sistemas simplificados para el tratamiento de aguas residuales”
- George E. Barnes. Tratamiento de Agua Negras y Desechos Industriales

ANEXO

Ejemplos de aplicación

Se desea implantar un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante el empleo de un tanque imhoff. La población es de 2000 habitantes, tiene una dotación de 150 litros/hab/día, un porcentaje de contribución al desagüe de 80%, contribución de sólidos suspendidos de 70 gr de SS/h/d, la temperatura del mes mas frío es 10°C.

✓ **El caudal de tratamiento será:**

$$Qp = \frac{Poblacion \times Dotacion}{1000} \times \%Contribucion = \frac{2000 \times 150}{1000} \times 0.8$$

$$Qp = 240m^3 / dia = 10m^3 / hora$$

✓ **Sedimentador**

El área será: $A = \frac{Q}{Cs}$

Donde: $Cs = 1 m^3/m^2/hora$

$$A = \frac{10 m^3 / hora}{1 m^3 / m^2 / hora} \quad A = 10 m^2$$

Volumen es: $V = R \times Q$

Asumimos 2 horas de periodo de retención:

$$V = 2horas \times 10m^3 / hora$$

$$V = 20 m^3$$

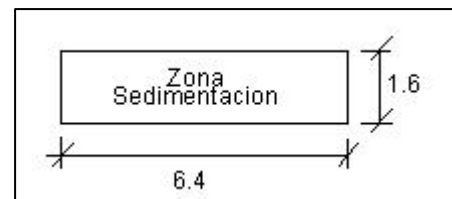
$$L / A = 4$$

Si entonces $Area = 4xA^2$

$$A = \sqrt{\frac{Area}{4}} = \sqrt{\frac{10}{4}} = 1.58 \approx 1.60 m$$

$$L = 6.4 m$$

$$tg 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{1} = \frac{h_1}{1.6/2}$$



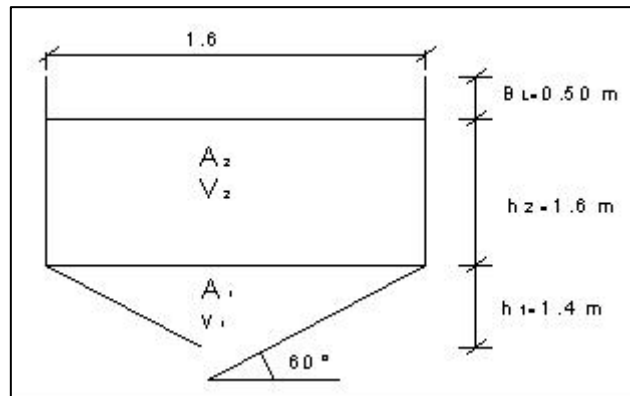
$$h_1 = 1.4 \text{ m}$$

$$V = V_1 + V_2$$

$$A_1 = \frac{1}{2} \times 1.6 \times 1.4$$

$$h_2 = 1.25 \text{ m}$$

$$A_2 = h_2 \times 1.6$$



✓ **Digestor**

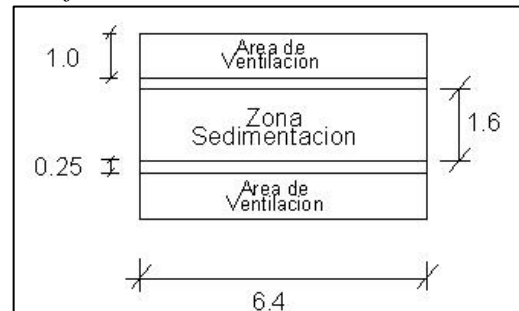
Volumen del digestor:

$$Vd = \frac{70 * P * fcr}{1000}$$

Como T°C es 10, de la tabla 1 obtenemos $fcr = 1.4$

$$Vd = \frac{70 \times 2000}{1000} \times 1.4$$

$$Vd = 196 \text{ m}^3$$



Entonces el área superficial será:

$$A_{total} = 4.1 \times 6.4 = 26.2 \text{ m}^2$$

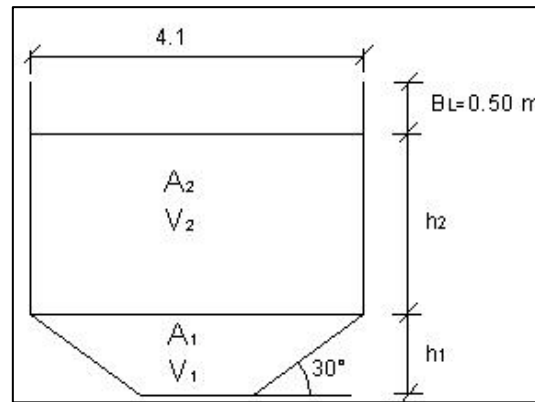
Área de ventilación es:

$$A_L = 2 \times 1 \times 6.4 = 12.8 \text{ m}^2$$

Verificamos si representa más del 30% del total del área del tanque:

$$\frac{A_L}{A_{total}} \times 100 = 49\%$$

Ahora calculamos las alturas dentro del digestor:



$$\operatorname{tg} 30^{\circ} = \frac{h_1}{4.1/2}$$

$$h_1 = 1.2 \text{ m}$$

Tenemos:

$$V_1 = \frac{1}{3} \times h_1 \times 4.1 \times 6.4$$

$$V_T = 196 = V_1 + V_2 = \frac{1}{3} \times 4.1 \times 1.2 \times 6.4 + 4.1 \times h_2 \times 6.4$$

Obtenemos:

$$h_2 = 7.1 \text{ m}$$

La longitud mínima del vertedero de salida será:

$$L_v = \frac{Q_{\max}}{Chv} = \frac{312 \text{ m}^3 / \text{dia}}{250 \text{ m}^3 / \text{m} / \text{dia}} = 1.3 \text{ m}$$

✓ Lecho de secado de lodos

Utilizando las fórmulas obtenemos lo siguiente:

$$Msd = 22.75 \text{ KgSS} / \text{dia}$$

$$\rho_{\text{lodo}} = 1.04 \text{ Kg} / \text{litro}$$

$$\% \text{Solidos} = 12.5\%$$

Reemplazándolas en la fórmula:

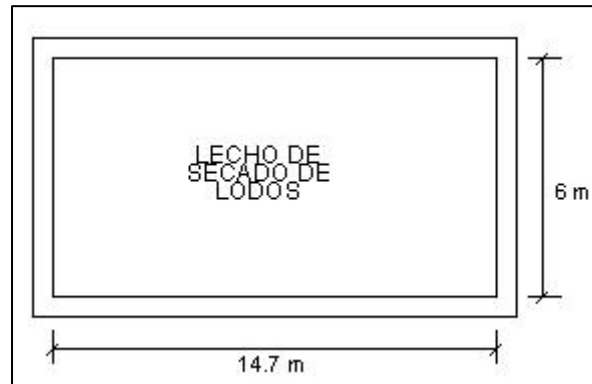
$$Vld = \frac{Msd}{\rho_{\text{lodo}} * (\% \text{de solidos} / 100)}$$

$$Vld = 0.175 \text{ litros} / \text{hab} / \text{dia}$$

$$Vet = 26.6 \text{ m}^3$$

El área lecho de secad será:

$$A_{\text{todo}} = 89\text{m}^2$$



Se desea tratar las aguas residuales a través de una laguna de estabilización facultativa, en una comunidad de 40000 hab.

Tenemos:

Dotación de 200 l/hab/día.

% contribución al desagüe del 80%.

Contribución per cápita de D.B.O. de 43 gr.D.B.O./hab/día.

T°C promedio mes + frío = 18°C

T°C promedio mes + caliente = 27°C

✓ **Caudal de diseño:**

$$Q_{\text{diseño}} = Q_{\text{promedio}}$$

$$Q_p = \frac{40000 \times 200}{1000} \times 0.8 = 6400\text{m}^3 / \text{dia}$$

✓ **Carga orgánica:**

$$C = \frac{\text{Pob} \times \text{Contr. Percap}}{1000} = \frac{40000 \times 43}{1000} = 1720 \text{ Kg D.B.O} / \text{dia}$$

✓ **Temperatura de diseño: se toma la temperatura del mes más frío.**

$$T^{\circ} \text{diseño} = 18 + 1 = 19^{\circ} \text{C}$$

✓ **Carga superficial**

$$CS_{diseño} = 250 \times 1.05^{(19-20)} = 238 \text{ KgDBO} / \text{Haxdia}$$

✓ **Área requerida**

$$A_{requerido} = \frac{\text{Carga Orgánica}}{\text{Carga Volumetrica}} = \frac{1720}{238} = 7.23 \text{ Ha}$$

Para 2 lagunas, entonces tenemos:

$$\text{Area c / laguna} = \frac{7.23}{2} = 3.615 \text{ Ha}$$

Asumiendo una relación largo/ancho igual a 2.

$$\frac{L}{W} = 2 \quad W = \sqrt{\frac{36150}{2}} = 134.443 \approx 134.5 \text{ m}$$

Las dimensiones son:

$$W = 134.5 \text{ m}$$

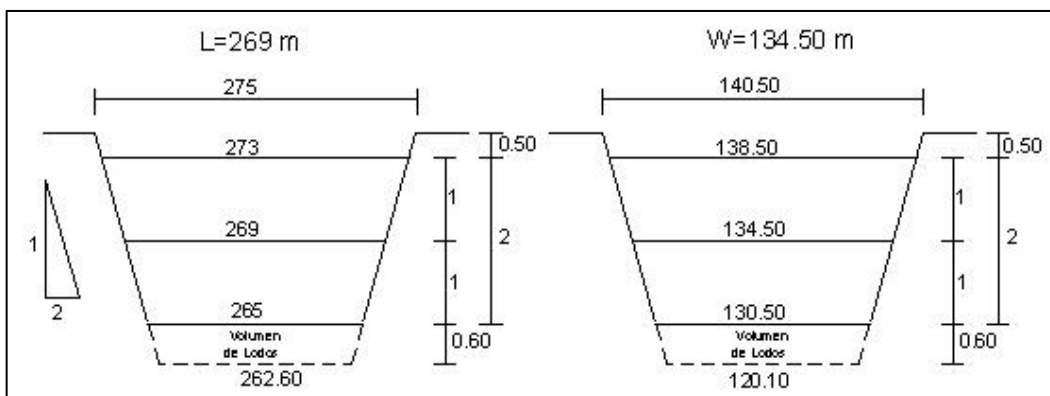
$$L = 269 \text{ m}$$

Tomamos una profundidad $Z = 2 \text{ m}$.

Estas dimensiones obtenidas son promedios unicamente.

Asumimos un talud de $Z_p = 2 \text{ m}$. y un borde libre de $0,50 \text{ m}$.

En el gráfico se mostrará las dimensiones de la laguna:



✓ **Volumen de lodos**

$$V_{lodos} = \frac{Pob \times Ta \times N}{1000} = \frac{40000 \times 120 \times 5}{1000}$$

$$V_{lodos} = 38400 \text{ m}^3$$

$$V_{lodos_{unitario}} = 19200 \text{ m}^3$$

✓ **Área de lodos**

$$A_{lodos} = 265 \times 130.5 = 34582.5 \text{ m}^2$$

Altura de lodos $Z_L = \frac{V_{lodos}}{A_{lodos}} = \frac{19200}{34582.5} = 0.55 \approx 0.60 \text{ m}$

✓ **Periodo de retención**

$$PR_{real} = PR_{teorico} \times Fch$$

Fch: factor de hidráulica, 0.3 – 0.8

$$PR_{teorico} = \frac{Volumen}{Qp} = \frac{(269 \times 134.5 \times 2)}{32000}$$

$$PR_{teorico} = 22.6 \text{ dias}$$

entonces $PR_{real} = 22.6 \times 0.7$

$$PR_{teorico} = 15.82 \text{ dias}$$

Como resultado mayor que 10 días, existirá una remoción de 100% de parásitos.