

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

**Facultad de Ingeniería**



**“Compendio de metodologías para el diseño de  
sedimentadores de flujo horizontal”**

**Trabajo de graduación presentado por  
José Alejandro Cáceres Schrei para optar al grado académico  
de Licenciado en Ingeniería Civil**

Guatemala  
2017







**“Compendio de metodologías para el diseño de  
sedimentadores de flujo horizontal”**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

**Facultad de Ingeniería**



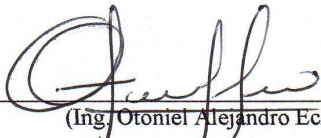
**“Compendio de metodologías para el diseño de  
sedimentadores de flujo horizontal”**

**Trabajo de graduación presentado por  
José Alejandro Cáceres Schrei para optar al grado académico  
de Licenciado en Ingeniería Civil**

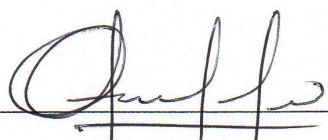
Guatemala  
2017

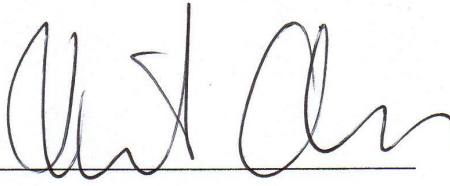


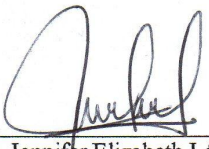
Asesor de Tesis:

(f)   
\_\_\_\_\_  
(Ing. Otoniel Alejandro Echeverría)

Tribunal Examinador:

(f)   
\_\_\_\_\_  
(Ing. Otoniel Alejandro Echeverría)

(f)   
\_\_\_\_\_  
(Ing. Roberto Godo Levensen)

(f)   
\_\_\_\_\_  
(Inga. Jennifer Elizabeth López)

Fecha de aprobación: Guatemala, 24 de enero de 2017. ✓







## Prefacio

En el tiempo que estudié en la Universidad, siempre me gustaron mucho las clases que trataban el manejo y el uso de fluidos. Si bien nuestra carrera se relaciona directamente con la construcción. El manejo responsable del agua también es un tema importante que se deriva de diferentes especializaciones dentro de esta carrera tan bonita que es la de ingeniero civil.

De acuerdo a mis intereses profesionales y la preocupación en cuanto a normativas y estudios relacionados al tratamiento de aguas elaboré un estudio de diferentes metodologías con el afán de determinar cómo realizar un mejor diseño funcional de sedimentadores de flujo horizontal.

Me encontré con varias limitantes a lo largo de mi trabajo, dentro de las cuales podría mencionar la poca información de los criterios de dimensionamiento para cada metodología y la poca concordancia dentro de las mismas a la hora de su aplicación.

El trabajo se realizó gracias al apoyo de mis padres, Rafael Cáceres y Heidi Schrei, de mí asesor, catedrático y buen amigo ingeniero Otoniel Alejandro Echeverría y por ultimo mi mejor amiga Andrea Barrientos.



## Índice

Prefacio.....	IX
Indicé de figuras .....	XIII
Indicé de tablas .....	XV
Resumen .....	XVII
I. Introducción.....	1
II. Justificación.....	3
III. Objetivos.....	5
IV. Marco Teórico.....	7
A. Tratamiento de aguas.....	7
B. Plantas potabilizadoras .....	7
C. Pretratamiento y acondicionamientos previos .....	10
1. Rejillas.....	10
2. Floculadores .....	11
D. Sedimentador .....	11
1. Tipos de sedimentación .....	12
E. Variables que afectan la sedimentación .....	12
F. Información básica para el diseño .....	14
G. Estudio de campo.....	14
H. Análisis de la sedimentación de partículas discretas .....	15
I. Parámetros de diseño de la sedimentación .....	17
1. Superficie de sedimentación.....	17
2. Volumen de sedimentación .....	18
3. Relaciones dimensionales.....	18
4. Tiempo de retención .....	19
5. Dimensiones de la zona de entrada .....	20
V. Metodologías de diseño .....	23
A. Metodología de la “Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores por la organización panamericana de la salud” .....	23
B. Metodología del “Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000” .....	26
C. Metodología de diseño “Criterios de diseño para sedimentadores horizontales (convencionales) por la Universidad Nacional Abierta a Distancia “ .....	27

VI. Metodología de diseño .....	29
VII. Análisis de metodologías de diseño.....	35
A. Diseño con carga hidráulica de $4 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2$ y caudal de 4 Lts/s .....	35
B. Diseño con carga hidráulica de $4 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2$ y caudal de 20 Lts/s .....	38
C. Diseño con carga hidráulica de $22 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2$ y caudal de 4 Lts/s .....	40
D. Diseño con carga hidráulica de $22 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2$ y caudal de 22 Lts/s .....	42
E. Diseño con carga hidráulica de $72 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2$ y caudal de 4 Lts/s .....	45
F. Diseño con carga hidráulica de $72 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2$ y caudal de 20 Lts/s.....	45
VIII. Propuesta de diseño .....	49
IX. Programa de diseño según la metodología de la Organización Panamericana de la Salud.....	51
X. Conclusiones.....	55
XI. Recomendaciones.....	57
XII. Bibliografía .....	59
XIII. Anexos .....	61
XIV. Glosario .....	63

## Índice de figuras

Figura 1. Planta de tratamiento de agua.....	8
Figura 2. Tratamiento de aguas residuales.....	9
Figura 3. Rejilla filtrante.....	10
Figura 4. Floculador (vista en planta).....	11
Figura 5. Zonas de funcionamiento del sedimentador.....	14
Figura 6. Modelo de partícula discreta.....	15
Figura 7. Zonas de sedimentación.....	23
Figura 8. Dimensiones del sedimentador para la zona de entrada.....	25
Figura 9. Criterios de diseño (diferentes autores).....	28



## Índice de tablas

Tabla 1. Velocidad de sedimentación de trabajo para metodologías de acuerdo al rango de carga hidráulica.....	30
Tabla 2. Anchos de diseño.....	30
Tabla 3. Longitud mínima de diseño.....	31
Tabla 4. Criterio de diseño longitud/ancho.....	31
Tabla 5. Altura de diseño del sedimentador.....	32
Tabla 6. Criterio de diseño longitud/ancho.....	32
Tabla 7. Velocidad horizontal recomendada.....	33
Tabla 8. Tiempo de retención recomendada .....	33



## Resumen

Este trabajo pretende hacer una guía de dimensionamiento geométrico para sedimentadores horizontales dado que hay muchas metodologías de diseño por lo cual se busca hacer un análisis de metodología aplicable de los diferentes métodos según diferentes problemas propuestos y bajo ello establecer el modelo más eficiente y sobresaltar los aspectos positivos y negativos de cada método de diseño.

Para lograr esto se hace una introducción contextualizada general del tratamiento de aguas y la importancia que tiene un sedimentador en el proceso.

Posteriormente se hace énfasis en los parámetros de diseño para el diseño geométrico del sedimentador horizontal. Estos parámetros son la superficie de sedimentación, volumen de sedimentación, relaciones dimensionales, tiempo de retención y dimensiones de la zona de entrada del sedimentador.

Se realizó una comparación de las diferentes metodologías donde se hicieron seis análisis diferentes de acuerdo a diferentes cargas hidráulicas propuestas que abarcan el rango de trabajo de todas las metodologías encontradas.

Por último se siguieron una serie de pasos para lograr diseñar el sedimentador de la mejor forma posible. Con ello se estableció y se llevó a cabo por medio del programa Mathcad, que es una herramienta para hacer programación, un programa adaptado a la mejor metodología que permite hacer el diseño del sedimentador.



## I. Introducción

Este trabajo hace una breve estudio sobre el diseño de los sedimentadores de tipo horizontal. Se analizaron diferentes metodologías para dichos dimensionamiento para los cuales se proyectaron seis análisis diferentes con el objetivo de estudiar el comportamiento de cada parámetro de diseño y de cada metodología bajo las circunstancias similares.

Mediante los resultados observados en los casos proyectados, se determinó que la metodología que mejor responde a las diferentes situaciones y corresponde a sus dimensiones de análisis es la metodología de la Organización Panamericana de la Salud.

Bajo esta conclusión se recomienda que si se pretende diseñar un sedimentador de flujo horizontal se opte por esta metodología y poder realizar un análisis más afondo de las características climatológicas y físicas del agua que puedan incidir directamente en el comportamiento del mismo.



## II. Justificación

En el ámbito del tratamiento de aguas negras y diseño de sistemas hídricos existen normativas y regulaciones en cuanto a la calidad del agua y algunos parámetros para ciertos criterios de diseño. Pero Guatemala no tiene un código de diseño para plantas de tratamiento y sedimentadores en específico que sea regulado y ello hace que se recurra a diferentes guías de diseño que se basan cada una en la experiencia, ya que existen muchos métodos de diseño que establecen sus propios pasos, métodos y criterios para algunas partes de la estructura por lo cual no se puede definir un sistema altamente funcional o el adecuado según las necesidades del proyecto.

Esto hace pensar que los modelos no son altamente eficientes y podrían estar sobredimensionados y faltos de estudio. Es por ello que se busca hacer un análisis de diferentes métodos de diseño para los sedimentadores, particularmente los de flujo horizontal. El cual permita hacer un análisis en base a eficiencia en el diseño, para luego hacer una propuesta de que metodología sea la que adopte un modelo que acople el diseño funcional y más eficiente según el análisis realizado a los diferentes modelos de estudio.

Este tema proviene de la inquietud de la poca regulación que se tiene en los sistemas sanitarios y tratamiento de aguas y en busca de tratar de adoptar normativas o introducirlas al país.

Así como las estructuras de ocupación tienen códigos bajo los cuales se rigen. Se debería de tener códigos de diseño para estructuras sanitarias, dado que la importancia que tiene el agua para la vida humana es elevada y cada vez más escasa.

Es de esta cuenta que se elaboró una guía para adoptar mejores diseños y hacer más eficientes los procesos en una parte específica del tratamiento de aguas.



### III. Objetivos

#### A. General

- Generar un compendio de metodologías de diseño para el dimensionamiento de sedimentadores horizontales.

#### B. Específicos

- Identificar bajo diferentes métodos de diseños que aspectos son de mayor beneficio para el diseño de sedimentadores.
- Construir un diagrama determinando los pasos necesarios para el diseño de sedimentadores.
- Proponer cual metodología se adapta mejor a las necesidades de Guatemala.
- Determinar si todas las metodologías son funcionales para diferentes caudales y velocidades de sedimentación.
- Realizar un algoritmo que permita diseñar el sedimentador de mejor funcionamiento según las comparaciones de metodologías a realizar.



## IV. Marco teórico

### A. Tratamiento de aguas

Tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables del agua, bien sean naturales, de abastecimiento, de procesos o residuales.

La finalidad de estas operaciones es obtener unas aguas con las características adecuadas al uso que se les vaya a dar, por lo que la contaminación y naturaleza exacta de los procesos varía en función, tanto de las propiedades de las aguas de partida como de su destino final.

Debido a que las mayores exigencias en lo referente a la calidad del agua se centran en su aplicación para el consumo humano y animal, estos se organizan con frecuencia en tratamientos de potabilización y tratamientos de depuración de aguas residuales, aunque ambos comparten muchas operaciones.

### B. Plantas potabilizadoras

Se denomina estación de tratamiento de agua potable al conjunto de estructuras en las que se trata el agua de manera que sea apta para el consumo humano. Existen diferentes tecnologías para potabilizar el agua, pero todas deben cumplir los mismos principios:

- Combinación de barreras múltiples para alcanzar bajas condiciones de riesgo.
- Tratamiento integrado para producir el efecto esperado.
- Tratamiento por objetivos.

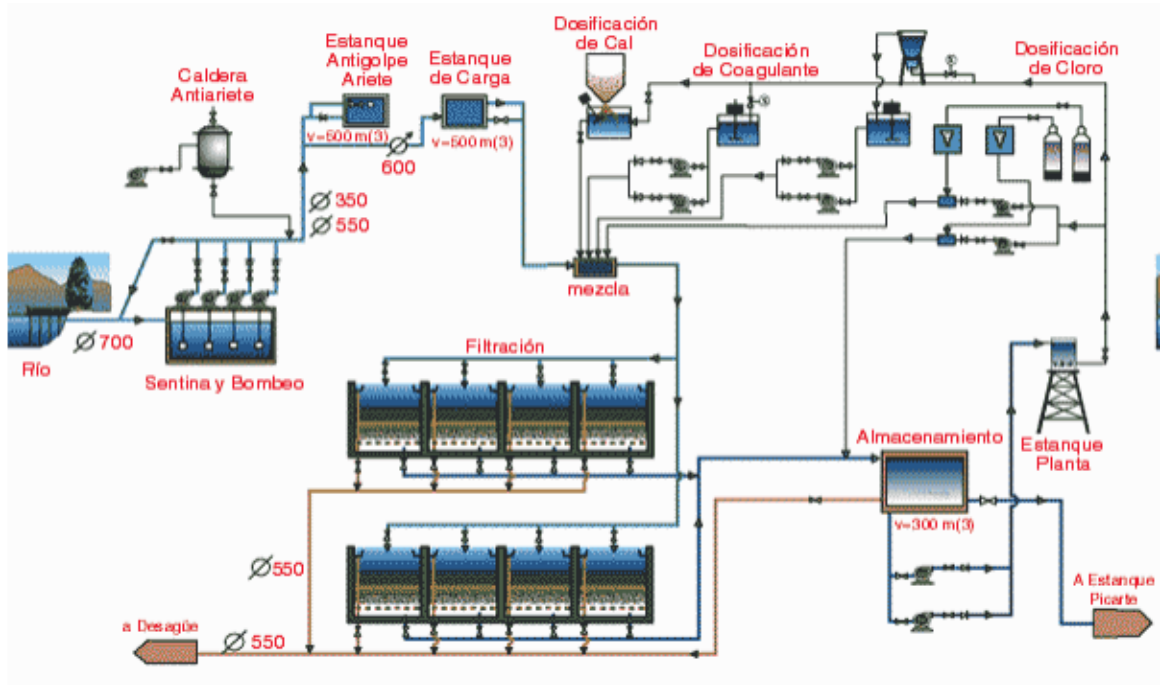
Si no se cuenta con un volumen de almacenamiento de agua potabilizada, la capacidad de la planta debe ser mayor que la demanda máxima diaria en el periodo de diseño.

Además, una planta de tratamiento debe operar continuamente, aún con alguno de sus componentes en mantenimiento, por eso es necesario como mínimo dos unidades para cada proceso de la planta.

- El esquema de funcionamiento de una planta potabilizadora es la siguiente (ver Figura 1):
- Toma del río: Punto de captación de las aguas.
- Reja: Impide la penetración de elementos de gran tamaño.
- Desarenador: Sedimenta arenas suspendidas para evitar dañar las bombas.
- Bombeo de baja: Toma el agua directamente de un río, lago o embalse enviando el agua cruda a la cámara de mezcla.
- Cámara de mezcla: Donde se agrega al agua químicos coagulantes.
- Decantador o sedimentador: El agua llega velozmente a una pileta muy amplia donde se reposa, permitiendo que se depositen las impurezas en el fondo. Para acelerar esta operación, se le agrega al agua coagulante que atrapan las impurezas formando pesados coágulos. El agua sale muy clarificada y junto con la suciedad quedan gran parte de las bacterias que contenía.
- Filtro: El agua decantada llega hasta un filtro donde pasa a través de sucesivas capas de arena de distinto grosor.

- Desinfección: Para asegurar la potabilidad del agua, se agrega cloro que elimina el exceso de bacterias.
- Bombeo de alta: Toma el agua de depósitos de la ciudad.
- Deposito: Desde donde se distribuye a toda la ciudad.
- Control final: Antes de llegar al consumo, el agua es severamente controlada por químicos expertos, que analizan muestras tomadas en distintos lugares del sistema.

Figura 1. Planta de tratamiento de agua



[Diseprosa, 2011]

Las aguas residuales provienen de actividades industriales o agrícolas y del uso doméstico. Los tratamientos de aguas industriales son muy variados, según el tipo de contaminación, y pueden incluir precipitación, neutralización, oxidación química y biológica, reducción, filtración, osmosis, etc.

En el caso de agua urbana, los tratamientos suelen incluir la siguiente secuencia (ver Figura 2):

- Pretratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario



## C. Pretratamiento y acondicionamientos previos

El sistema de pretratamiento es una estructura auxiliar que debe preceder a cualquier sistema de tratamiento. Esta estructura persigue principalmente los objetivos de reducir los sólidos en suspensión de distintos tamaños que traen consigo las aguas. La mayoría de las fuentes superficiales de agua tienen un elevado contenido de materia en estado de suspensión, siendo necesaria su remoción previa, especialmente en temporada de lluvias.

Los procedimientos de separación de material muy grueso (rejillas: gruesas y finas) se realizan o están relacionados a las captaciones. Se considera como pretratamientos y acondicionamientos previos en la planta, a unidades como desarenadores y sedimentadores. En estas unidades se considera que las partículas, aun siendo de diferentes tamaños, se comportan como partículas discretas y aisladas. La sedimentación es un proceso muy importante ya que permite separar el material sólido del agua. Las partículas que se encuentran en el agua pueden ser perjudiciales en los sistemas o procesos de tratamiento ya que elevadas turbiedades inhiben los procesos biológicos y se depositan en el medio filtrante causando elevadas pérdidas de carga y deterioro de la calidad del agua efluente de los filtros.

**1. Rejillas.** Las rejillas son una estructura simple que consta de varios barrotes separados en medidas iguales. Con estas se retiene todo el material grueso y su principal objetivo es retener basuras, material sólido grueso que pueda afectar el funcionamiento de las bombas, válvulas, aireadores o cualquier otro sistema de tratamiento posterior (ver Figura 3).

**Figura 3. Rejilla filtrante**



[Universidad Nacional Abierta a Distancia,2008]

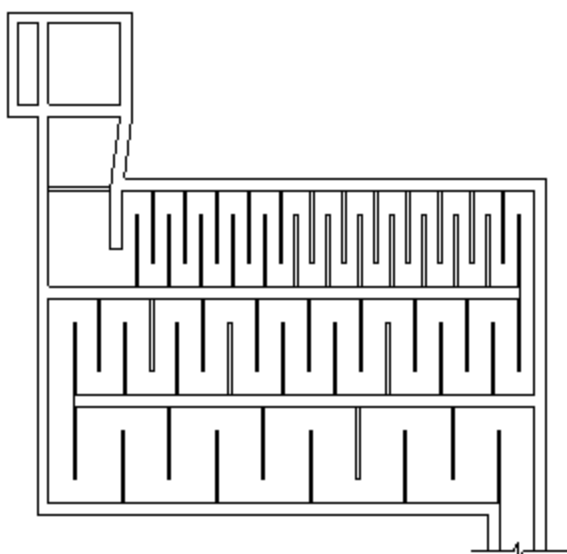
**2. Floculadores.** El floculador es un sistema hidráulico que permite la floculación la cual es la agitación lenta en el agua para permitir el crecimiento del floc. Este crecimiento es inducido por contacto de partículas de diámetro mayor de una micra generado por el gradiente de velocidad del agua.

El floculador busca cumplir con dos objetivos:

- Reunir los microflóculos generados por el proceso de coagulación y con ello formar partículas mayores con peso específico superior al agua.
- Compactar el floc para tener una mayor concentración del floc y reducir el volumen. Con ello permitirá en los procesos de sedimentación y filtración una mejor eficiencia.

Los floculadores hidráulicos derivan su energía para la agitación de la masa líquida, de la carga de velocidad que el flujo adquiere al escurrir por un conducto. Consisten en tanques provistos de pantallas entre los cuales el agua circula con una velocidad fija, produciendo cierta turbulencia en cada cambio de dirección del flujo (ver Figura 4). [Universidad Nacional Abierta a Distancia,2008]

**Figura 4. Floculador (vista en planta)**



[Universidad Nacional Abierta a Distancia,2008]

## **D. Sedimentador**

Es un separador o filtro primario diseñado para eliminar las partículas de sólidos en agua. Su nombre proviene de su acción, que ocasiona que el agua y partículas de sólidos caigan en el fondo del vaso o cámara para sedimentos, el sedimento es un material que cae o se asienta en el fondo del líquido. En el sedimentador ocurre sedimentación porque las partículas de sólido son más pesadas que el agua.

El objetivo de la sedimentación es remover los residuos sólidos sedimentables y material flotante para disminuir la concentración de sólidos suspendidos. Los sedimentadores primarios empleados como pretratamiento del agua remueve entre el 50% y el 70% de sólidos suspendidos.

La sedimentación se clasifica en cuatro tipos: Discreta, floculenta, de zona y de compresión. La primera, conocida también como sedimentación tipo I, se caracteriza por que la sedimentación se realiza en

forma individual y sin interferir entre ellas. La teoría que rige este tipo de sedimentación es la Ley de Stokes, aunque la aproximación a través de la relación  $Q/As$  (caudal sobre área superficial) es la más utilizada para aguas residuales.

La sedimentación floculenta o tipo II, se caracteriza por ser una sedimentación de partículas poco concentradas con tendencia a la floculación, por lo tanto; La velocidad de sedimentación de las partículas aumenta con el proceso de sedimentación. Es propio en sedimentadores primarios.

La sedimentación de zona o tipo III, ocurre en concentraciones intermedias de partículas, cuando estas forman al final del proceso de la sedimentación la interface sólido – líquido totalmente definido. Es propio de la sedimentación secundaria. Los parámetros que gobiernan el diseño de este tipo de sedimentación es la carga de sólidos, el caudal, tiempo de detención superficial y la relación  $Q/As$  (caudal sobre área superficial) .

La sedimentación de compresión ocurre cuando las partículas están sedimentadas y tienen una estructura de partículas ya formadas. Por lo tanto, puede suceder la sedimentación por compresión. Ocurre en el fondo de los sedimentadores secundarios siendo su parámetro de diseño el caudal.

### 1. Tipos de sedimentación. Existen dos diferentes tipos de sedimentación, las cuales son:

**Simple:** es cuando las partículas que se asientan son discretas, o sea partículas que no cambian de forma, tamaño o densidad durante el descenso en el fluido.

La sedimentación simple es, por ejemplo, lo que ocurre en un tanque desarenador que se coloca contiguo a la bocatoma y cuyo objetivo es separar la arena del agua.

**Inducida:** es cuando las partículas que se sedimentan son aglomerables, o sea, que durante la sedimentación se aglutinan entre si cambiando de forma y tamaño y aumentando de peso específico.

La sedimentación inducida es el tipo que se presenta en una planta de tratamientos y se logra en un tanque sedimentador, que se coloca continuo del floculador y permite la separación de las partículas floculentas que se forman en los procesos de coagulación y floculación. [Solano Adriana y Segarra Edgar, 2006]

## E. Variables que afectan la sedimentación

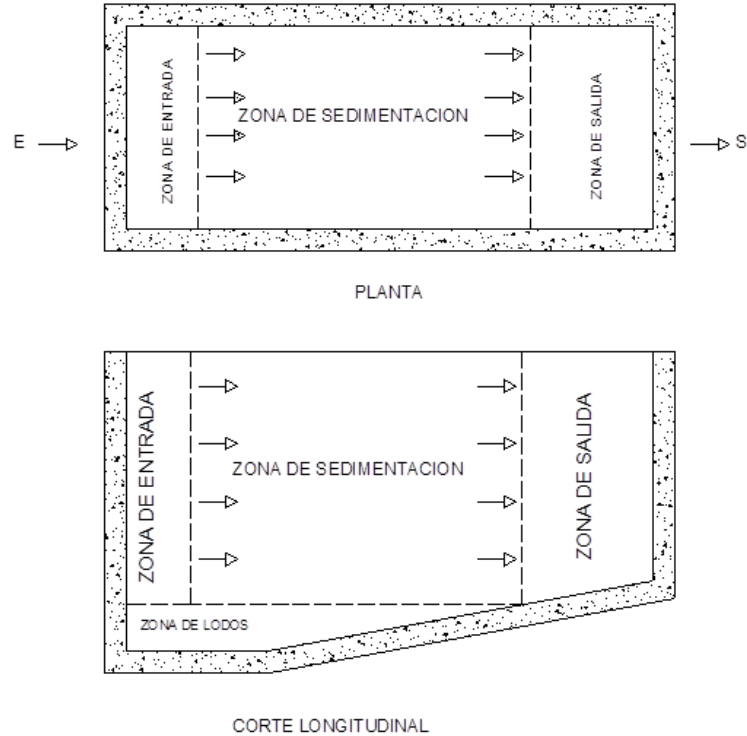
- **Corrientes de densidad:** Son las corrientes que se producen dentro del tanque por efecto de las diferencias de densidad en la masa de agua y son ocasionadas por un cambio de temperatura (térmica) y/o por diferencias en la concentración de las partículas suspendidas en las distintas masas de agua (de concentración).
- **Corrientes térmicas:** Las corrientes térmicas se producen cuando existe un cambio de temperatura mayor que 1°C por hora.

Generalmente durante la noche, en época fría, cuando el afluente llega al sedimentador con una temperatura más baja que la que existe en el tanque, el agua que entra, por su mayor densidad, desplaza a la que está más abajo, creando “corriente de fondo” que avanzan a alta velocidad y llegan hasta la salida en una fracción del tiempo nominal de detención arrastrando a su paso partículas de fango.

El fenómeno inverso se presenta cuando el flujo que entra es más caliente que el que existe en el tanque, lo que sucede a veces durante el día, por el calentamiento de las masas de agua superiores. En este caso se forma “Corrientes superficiales “que avanzan de la entrada a la salida, sin permitir el asentamiento de las partículas.

- Corrientes de concentración: Las corrientes de densidad, también pueden producirse por las diferencias en la concentración de partículas suspendidas en las distintas masas de agua. Afortunadamente, la mayor concentración de partículas suele estar en el fondo. Pero cualquier perturbación en el flujo, suele alterar el equilibrio produciendo un flujo envolvente sobre si mismo o sinuoso, muy diferente al teórico calculado.
- Corrientes debidas al viento: El viento suele producir corrientes de suficiente intensidad como para inducir cambios en la dirección del flujo y alterar el precario equilibrio de las masas de agua. En sedimentadores grandes suelen crearse oleajes de cierta magnitud, interfiriendo el proceso de sedimentación o desequilibrando la distribución del flujo en las canaletas de salida. Se recomienda por eso el uso de cortinas de árboles o vallas vegetales que impidan el impacto directo del viento sobre el agua.
- Corrientes cinéticas: Pueden ser debido al diseño impropio de la zona de entrada o de salida (velocidad de flujo excesiva, zonas muertas, turbulencias) o por obstrucciones en la zona de sedimentación (ver Figura 5).
- Alteración en la zona de entrada: Las alteraciones del flujo en la zona de entrada deben evitarse y su presencia puede deberse a una velocidad excesiva del flujo en la entrada del sedimentador, o a que los orificios sean muy grandes, creando turbulencias que pueden extenderse dentro del tanque. Similarmente puede mencionarse como causa de corrientes cinéticas, la distribución desigual del flujo en la entrada del sedimentador (orificios de distintos diámetros o algunos parcialmente obstruidos).
- Obstrucción en la zona de sedimentación: En esta zona las líneas de flujo no deben encontrarse con ningún tipo de obstrucciones que alteren su trayectoria, ya que disminuiría la eficiencia del sedimentador.
- Alteración en la zona de salida: La distribución desigual del agua en la zona de salida es una de las más frecuentes causas de corrientes cinéticas en un sedimentador. Las canaletas de pequeña longitud, mal ubicadas, mal niveladas o impropriamente diseñadas producen cortocircuitos hidráulicos y zonas muertas que pueden inutilizar grandes áreas de los sedimentadores.

**Figura 5. Zonas de funcionamiento del sedimentador**



[Universidad Nacional Abierta a Distancia,2008]

## F. Información básica para el diseño

La información básica para el diseño es la siguiente:

- Caudal de diseño: Las unidades en una planta de tratamiento serán diseñadas para el caudal máximo diario.
- Calidad fisicoquímico del agua: Dependiendo de la calidad del agua cruda, se seleccionarán los procesos de pretratamiento y acondicionamiento previo.
- Características del clima: Variaciones de temperatura y régimen de lluvias.

## G. Estudio de campo

Para efectuar los diseños de un sistema de tratamiento deben realizarse los siguientes estudios a nivel de campo:

- Estudio de fuentes: que incluya los aforos y los regímenes de caudal de por lo menos los últimos tres años.
- Zona de ubicación: levantamiento topográfico a detalle, análisis de riesgo y vulnerabilidad de ella a desastres naturales.
- Análisis de suelos y geodinámica
- Análisis de la calidad del agua.

## H. Análisis de la sedimentación de partículas discretas

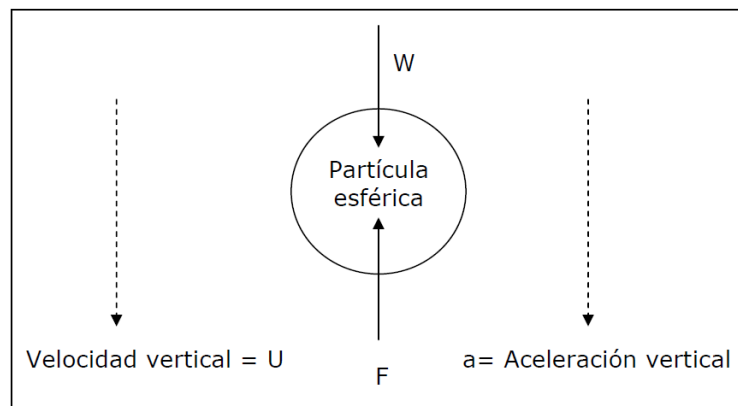
Se denomina partículas discretas a aquellas que no cambian su forma, tamaño o peso a medida que se sedimentan, por lo que este tipo de sedimentación es libre, no interferida, que depende solamente de las propiedades del fluido y de la partícula.

Al colocar una partícula discreta en un fluido en reposo, la partícula se moverá verticalmente debido a la gravedad, si su densidad difiere de la del fluido. En nuestro caso el fluido es el agua, cuya densidad ha de ser menor que el de la partícula.

La sedimentación de partículas discretas no fluculantes puede analizarse mediante las leyes clásicas formuladas por Newton y Stokes.

La Ley de Newton proporciona la velocidad final de una partícula como resultado de igualar el peso efectivo de la partícula a la resistencia por rozamiento o fuerza de arrastre (Figura 6). [Luis, 2005]

**Figura 6. Modelo de partícula discreta**



[Solano Adriana y Segarra Edgar, 2006]

El peso de la partícula viene dado por:

$$W = V(\rho_s - \rho_w)g$$

Donde:

W= Peso de la partícula en el agua (N)

V= Volumen de la partícula (m<sup>3</sup>)

$\rho_s$ = Densidad de la partícula en (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_w$ = Densidad del agua en (kg/m<sup>3</sup>)

G= Aceleracion de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

La fuerza vertical de arrastre o fricción es función de la rugosidad, de la forma, tamaño y velocidad vertical de la partícula así como de la densidad y viscosidad del agua. Empíricamente se ha encontrado que para partículas discretas esta fuerza es igual a:

$$F = \frac{Cd * An * \rho w * U^2}{2}$$

Donde:

F= Fuerza de arrastre vertical (N)

Cd= Coeficiente de arrastre de Newton (adimensional)

An= Area de la sección transversal de la partícula normal a la dirección de asentamiento (m<sup>2</sup>)

U= Velocidad de asentamiento (m/s)

$\rho w$ = Densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>)

El valor del coeficiente de arrastre, Cd es función del número de Reynolds(Re)

$$Re = \frac{D * U}{\nu}$$

Donde:

D= Diámetro de la partícula (m)

U= Velocidad de asentamiento (m/s)

$\nu$  = Viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s)

Para partículas esféricas y RE <10000 se tiene que:

$$Cd = \frac{24}{Re} + \frac{3}{Re^{1/2}} + 0.34$$

Inicialmente la partícula se acelerará hasta que la fuerza de fricción o de arrastre del fluido se haga igual a la fuerza impulsora de asentamiento.

Cuando las fuerzas verticales están en equilibrio, de acuerdo con la segunda ley de Newton, la aceleración se hace igual a cero y la velocidad se vuelve constante. Por lo tanto, para partículas esféricas:

$$V(\rho s - \rho w) * g = \frac{Cd * An * \rho w * U^2}{2}$$

$$U = \sqrt{\frac{4g(Ss - 1) * D}{3Cd}}$$

Donde:

Ss= Densidad relativa de la partícula

En la zona de asentamiento viscoso, intervalo de Stokes, Re < 0.5, la relación entre el Número de Reynolds y el coeficiente de arrastre se puede tomar igual a:

$$Cd = \frac{24}{Re} = \frac{24\nu}{D * U}$$

Sustituyendo en la ecuación de la velocidad de asentamiento (u) se tiene:

$$U = \frac{g * D^2(Ss - 1)}{18\nu}$$

La ecuación anterior se conoce como Ley de Stokes y ha sido comprobada experimentalmente. En el intervalo de Newton,  $1000 < Re < 100000$ , el valor de Cd es aproximadamente constante e igual a 0,4 , por lo tanto,

$$Cd = 0.4$$

Sustituyendo en la ecuación de la velocidad de asentamiento (u) se tiene:

$$U = \sqrt{\frac{10g(Ss - 1)D}{3}}$$

Para la obtención de la velocidad de asentamiento, se supone que  $W=F$ , lo cual implica la satisfacción de las siguientes condiciones:

- Relación  $V/A$  constante; corresponde a partículas discretas esféricas.
- Ausencia de viento y corrientes de densidad o térmicas.
- Ausencia de cortocircuitos.
- Cd constante y por consiguiente viscosidad y temperatura constantes.

En la práctica no es posible satisfacer todas estas condiciones simultáneamente. El modelo de sedimentador es ideal bajo estas condiciones y su funcionamiento no es predecible del todo.

## I. Parámetros de diseño de la sedimentación

**1. Superficie de sedimentación.** Los tanques de sedimentación se suelen dimensionar en función de la carga de superficie, expresada en  $m^3/m^2$  día. La adopción de una carga de superficie adecuada depende del tipo de suspensión que hay que sedimentar.

El efecto de la carga superficial sobre la eliminación de sólidos suspendidos varía ampliamente en función de las características del agua residual, de la proporción de sólidos sedimentables, concentración de sólidos, así como de otros factores.

Carga superficial de diseño: En sedimentadores de flujo horizontal, la tasa o carga superficial representa la relación entre el caudal, Q, y la superficie superior  $A_s$  de la zona de sedimentación.

$$Cs = \frac{Q}{As}$$

La tasa superficial equivale a la velocidad vertical media de sedimentación de aquellas partículas que son removidas en un 100%. La elección de la tasa superficial depende del criterio y experiencia del proyectista.

Con la carga superficial se determina el  $A_s$  (área superficial) requerida para el sedimentador.

**2. Volumen de sedimentación.** Se demuestra que en sedimentadores de flujo horizontal, la profundidad en sí misma no tiene influencia en la sedimentación. Lo mismo puede afirmarse para sedimentadores de flujo vertical. La profundidad debe ser por lo tanto fijada según la experiencia del proyectista, considerando la necesidad de almacenamiento y concentración de los barros y la prevención de resuspensión de los mismos debido a excesos de velocidades horizontales que pudiesen resultar de bajas profundidades (en el caso de sedimentadores de flujo horizontal) o debido a succión en los puntos de salida.

No es deseable, por otra parte, tener grandes profundidades a fin de no producir largos períodos de detención de los barros que provocan condiciones sépticas, y a fin de evitar corrientes debidas a diferencias de densidad.

Los sólidos que contiene un líquido cloacal tienen ciertas características floculentas. Se puede pensar que en el caso de sedimentadores de flujo horizontal o vertical cuanto mayor es la profundidad, mayor es la probabilidad de contacto entre las partículas de una suspensión floculenta mientras sedimentan; pero a igualdad de volumen, a mayor profundidad corresponde menor área superficial y no pueden sobrepasarse ciertos límites sin aumentar la tasa superficial y afectar en consecuencia la eficiencia de la sedimentación. [OPANA,2008]

**3. Relaciones dimensionales.** Según cada metodología, se deben conservar ciertos parámetros geométricos entre la longitud, altura y ancho del sedimentador.

Donde:

L= Longitud del sedimentador

H= Altura útil del sedimentador

B= ancho del sedimentador

Las relaciones que se deben cumplir son las siguientes:

L/H= debe estar entre un valor mínimo y un valor máximo.

L/B= debe estar entre un valor mínimo y un valor máximo.

Los límites mínimos y máximos de las relaciones anteriores están definidas según cada autor.

También se deben guardar las relaciones entre las velocidades de flujo y las dimensiones del largo y altura.

$$\frac{L}{H} = \frac{Vh}{Vs}$$

Donde:

Vh= Velocidad horizontal

Vs= Velocidad de sedimentación

Se puede determinar la velocidad horizontal Vh (m/seg) del sedimentador mediante la ecuación.

$$Vh = \frac{Q}{B * H}$$

Velocidad de arrastre: En los tanques de sedimentación, las velocidades horizontales se deben mantener a niveles bajos de modo que las partículas no sean arrastradas desde el fondo del tanque. La velocidad requerida para iniciar el arrastre de las partículas puede calcularse por la expresión:

$$Va = \sqrt{\frac{8 * \beta * g * (Ss - 1) D}{f}}$$

Donde:

Va= Velocidad de arrastre, (m/s)

$\beta$ = 0.04 – 0.1 (Constante que depende del tipo de material sedimentado)

f= factor de fricción de Darcy-Weisbach. Valores típicos 0.02-0.03

g= Aceleración de la gravedad, (m/s<sup>2</sup>)

D= Diámetro promedio de las partículas, (m)

Ss= Densidad relativa de las partículas.

La ecuación anterior indica que la velocidad requerida para iniciar el arrastre es independiente del tamaño y profundidad del tanque y solo es función del factor de fricción, el tamaño promedio de las partículas y su densidad relativa. La velocidad de arrastre se debe mantener menor a 1.25 cm/s recomendable. Este es el máximo valor de velocidad horizontal que recomiendan mantener los diferentes autores para prevenir el movimiento de sedimentos.[OPANA,2008]

**4. Tiempo de retención.** Es el tiempo teórico que toda partícula discreta y aislada del líquido permanecería en el sedimentador con un flujo denominado de tipo pistón. Esta situación no se cumple en general en la práctica, pues algunas partículas salen antes de cumplir dicho período y otras permanecen más tiempo. Ello es debido a los efectos de cortocircuitos y la existencia de zonas muertas que pueden producirse en las operaciones de flujo continuo y a la existencia de partículas aglomerables o floculentas.

El período nominal de detención o permanencia, Tr, es igual al cociente entre el volumen V del tanque y el caudal Q:

$$Tr = \frac{V}{Q}$$

O bien

$$Tr = \frac{\textit{Profundidad}}{\textit{Carga superficial}}$$

Actualmente se considera que lo que define un proyecto es la elección de una determinada tasa superficial y las permanencias o períodos de detención, en definitiva definen la profundidad y dependen principalmente del rol que debe desempeñar la sedimentación en el tratamiento y de las características del líquido a tratar.

Corresponden así menores períodos de detención para tanques que preceden tratamientos biológicos que para tanques que sirven como único medio de tratamiento, excepto en el caso del proceso de barros activados con recirculación de barros.

Se recomiendan períodos de detención de 1 a 2 h., para sedimentadores primarios previos a tratamientos biológicos y de 1.5 a 2.5 h., para sedimentadores finales o sedimentadores utilizados como medio de tratamiento.

[OPANA,2008]

**5. Dimensiones de la zona de entrada.** Las entradas de los sedimentadores de flujo horizontal deben cumplir con estrictas condiciones hidráulicas de diseño de manera de que la unidad se asemeje a un sedimentador ideal.

La entrada del líquido cloacal a los sedimentadores puede hacerse así: por vertederos frontales, por compuertas, por aberturas que descargan entre pantallas, por pantallas perforadas o ranuras y por alimentación central (esto último para sedimentadores circulares).

De todos estos sistemas, los más utilizados son los de descarga contra pantalla y los de alimentación central.

En el sistema por vertedero tiene el inconveniente de producir depósitos en el canal de llegada.

En el sistema de sedimentadores circulares con alimentación central, el líquido entra por un conducto o una columna hueca central y desborda bajo el nivel del pelo de agua en el sedimentador; la descarga está reducida generalmente por una pantalla circular concéntrica, que ayuda a la distribución uniforme del efluente.

**Pantalla difusora:** La pantalla difusora se utiliza generalmente en sedimentadores rectangulares como parte de la zona de entrada, conteniendo un número  $n$  de orificios, debiendo además cumplir con ciertas normas y requerimientos.

Este elemento busca proveer una transición suave entre la velocidad relativamente alta de la tubería afluyente y la velocidad baja uniforme deseable en la zona de asentamiento, para minimizar su interferencia con este proceso.

La ubicación de la pantalla difusora debe ser entre 0.7 m y 1.0 m de distancia de la pared de entrada.

Los orificios más altos de la pared difusora deben estar a  $1/5$  o  $1/6$  de la altura ( $H$ ) a partir de la superficie del agua y los más bajos entre  $1/4$  ó  $1/5$  de la altura ( $H$ ) a partir de la superficie del fondo (ver figura 6).

La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0.15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.

Se debe aboquillar los orificios en un ángulo de  $15^\circ$  en el sentido del flujo.

En tanques sujetos a vientos severos, corrientes de densidad o variaciones de caudal, son recomendables dos paredes difusoras intermedias.

En tanques sujetos a vientos benignos, corrientes de densidad o variaciones de caudal, una pared difusora intermedia es recomendable.

Para el diseño de la pantalla difusora se tiene:

- Se asume una velocidad de paso entre los orificios.
- Se determina el área total de los orificios ( $A_o$ ):

$$A_o = \frac{Q}{V_o}$$

Donde:

Q= Caudal de diseño.

Vo= Velocidad de paso entre los orificios.

- Se adopta un diámetro de orificio.
- Se determina el área de cada orificio (ao)
- Se determina el número de orificios (n):

$$n = \frac{Ao}{ao}$$

Donde:

ao= Área de cada orificio

Ao= área total de los orificios

- Se determina la porción de altura de la pantalla difusora con orificios (h):

$$h = H - \frac{2}{5}H$$

Donde:

H= Profundidad del sedimentador

- Se asume un número de filas de orificios (nf), obteniéndose por tanto el número de columnas de orificios (nc).
- Se determina el espaciamiento entre filas (a1):

$$a1 = \frac{h}{nf}$$

- Se determina el espaciamiento entre columnas (a2):

$$a2 = \frac{B}{nc + 1}$$

Donde:

B= Ancho del sedimentador



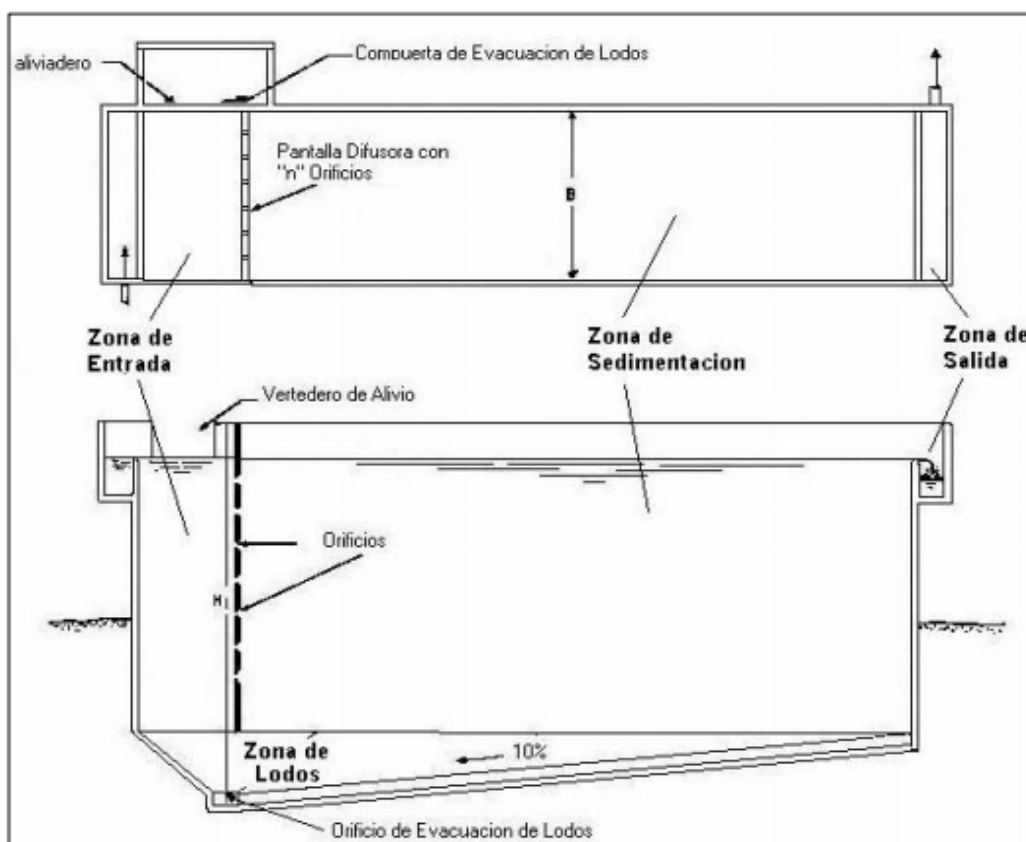
## V. Metodologías de diseño

### A. Metodología de la “guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores por la organización panamericana de la salud”

El diseño del sedimentador toma en cuenta las 4 zonas específicas de funcionamiento del sedimentador (ver Figura 7).

- Zona de entrada: Estructura hidráulica de transición, que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.
- Zona de sedimentación: Consta de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos.
- Zona de salida: Constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas.
- Zona de recolección de lodos: Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, una tubería y una válvula para su evacuación periódica.

Figura 7. Zonas de sedimentación



[Organización Panamericana de la salud, 2005]

### Criterios de diseño

- El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años.
- El número de unidades mínimas en paralelo es de dos para efectos de mantenimiento.
- El periodo de operación es de 24 horas por día
- El tiempo de retención será entre 2 a 6 horas.
- La carga superficial será entre 2 a 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día.
- La profundidad del sedimentador será entre 1.5 y 2.5 m.
- La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre 3 a 6.
- La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5 a 20.
- El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10 % para facilitar el deslizamiento del sedimento.
- La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0.15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.
- Aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.
- La descarga de lodos se debe ubicar en el primer tercio de la unidad, pues el 80% del volumen de los lodos se deposita en esa zona.
- Se debe efectuar experimentalmente la determinación del volumen máximo que se va a producir por medio del análisis de la velocidad de sedimentación de partículas con características semejantes a las sedimentables.
- El caudal por metro de recolección en la zona de salida debe ser igual o inferior a 3 l/s.
- Se debe guardar la relación de las velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura

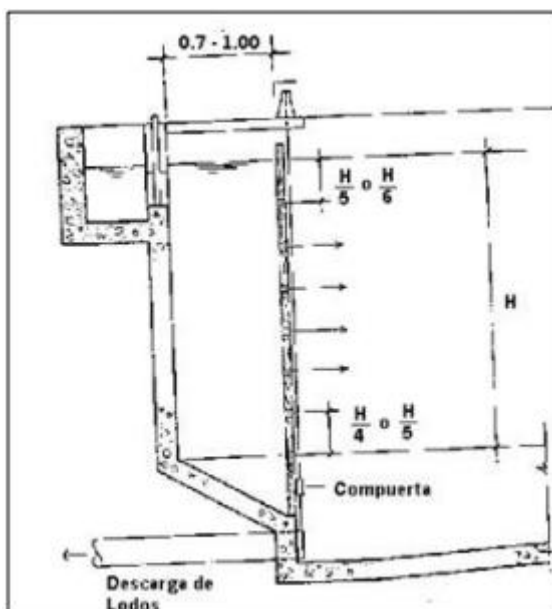
$$\frac{L}{H} = \frac{Vh}{Vs}$$

- La sección de la compuerta de la evacuación de lodos (A2) debe mantener la relación. Donde t es el tiempo de vaciado.

$$A2 = \frac{As * \sqrt{H}}{4850 * t}$$

- La ubicación de la pantalla difusora debe ser entre 0.7 a 1m de distancia de la pared de entrada (ver Figura 8).

Figura 8. Dimensiones del sedimentador para la zona de entrada



[Organización Panamericana de la Salud, 2005]

- Los orificios más altos de la pared difusora deben estar a  $1/5$  o  $1/6$  de la altura ( $H$ ) a partir de la superficie del agua y los más bajos entre  $1/4$  o  $1/5$  de la altura ( $H$ ) a partir de la superficie del fondo.

### Dimensionamiento

- Determinar el área superficial de la unidad ( $A_s$ ), que es el área superficial de la zona de sedimentación, de acuerdo a la relación:

$$A_s = \frac{Q}{V_s}$$

Donde:

$V_s$ : Velocidad de sedimentación (m/seg)

$Q$ : Caudal de diseño ( $m^3$ /seg)

- Determinar las dimensiones de largo  $L$ (m), ancho  $B$ (m) y altura  $H$ (m) de manera tal que se cumplan las relaciones o criterios mencionados anteriormente. Considerando el espaciamiento entre la entrada y la cortina o pared de la distribución de flujo.
- Determinar la velocidad horizontal  $V_H$  (cm/seg) de la unidad mediante la ecuación. La cual debe cumplir las relaciones anteriores.

$$V_H = \frac{100 * Q}{B * H}$$

Donde:

Q: Caudal de diseño

B: Ancho del sedimentador

H: Altura del sedimentador

- Determinar el tiempo de retención  $T_o$  (horas), mediante la relación:

$$T_o = \frac{As * H}{3600 * Q}$$

- Determinar el número de orificios, cumpliendo con los criterios de diseño.

$$A_o = \frac{Q}{V_o}$$

Donde:

$V_o$ : Velocidad en los orificios (m/seg)

Q: Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/seg)

$A_o$ : Área total de orificios (m<sup>2</sup>)

$$n = \frac{A_o}{a_o}$$

Donde:

$a_o$ : Área de cada orificio (m<sup>2</sup>)

n: número de orificios

## B. Metodología del “Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS - 2000”

La entrada del agua a los sedimentadores debe ser realizada por un dispositivo hidráulico capaz de distribuir el caudal uniformemente a través de toda la sección transversal, disipar la energía que trae el agua y garantizar una velocidad longitudinal uniforme, de igual intensidad y dirección. Para los sedimentadores el dispositivo de entrada a la unidad debe trabajar con un gradiente igual al de la última cámara de floculación.

El trayecto entre las dos unidades debe ser lo más corto posible, por lo cual los floculadores deben quedar próximos a la estructura de entrada de los sedimentadores.

En caso de emplear las pantallas perforadas debe cumplirse con los siguientes requisitos:

- Debe hacerse un gran número de orificios con diámetro pequeño.
- Los orificios más bajos deben estar a una distancia del fondo de 1/4 a 1/5 de la altura de la lámina de agua y los orificios más altos deben quedar por debajo de la superficie del agua, a una distancia de 1/5 o 1/6 de la altura de la lámina de agua.

Cuando los sedimentadores están colocados a continuación de un floculador de paletas, deben tomarse las precauciones necesarias para evitar que la turbulencia generada por éste afecte la zona de entrada en el sedimentador.

- **Zona de sedimentación**  
Debe constar de una cámara con volumen y condiciones de flujo adecuados que permitan la sedimentación de las partículas. No debe contener ningún elemento que interfiera el paso del flujo dentro de esta zona.
- **Zona de salida**  
Debe estar constituida por vertederos, canaletas o tubos con perforaciones.
- **Zona de recolección de lodos**  
Debe diseñarse teniendo en cuenta los parámetros de diseño.
- **Tiempo de detención**  
La unidad debe diseñarse de forma que permita un tiempo de detención entre 2 h y 4 h.
- **Carga superficial**  
Debe estar entre 15 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.día) y 30 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.día).
- **Velocidad del flujo**  
El sedimentador de flujo horizontal debe diseñarse de forma que permita una velocidad horizontal del flujo de agua de máximo 1 cm/s.
- **Altura del agua**  
La altura del nivel del agua debe estar entre 4 m y 5 m.
- **Pendiente longitudinal**  
La pendiente longitudinal del fondo debe ser mayor al 2%.
- **Descarga de lodos**  
Debe existir un dispositivo de descarga apropiado de lodos que permita un vaciado de la unidad en máximo seis horas.
- **Dimensiones**  
Para tanques rectangulares, la relación entre el ancho y el largo es de 1:4 a 1:8 y la relación entre el largo y la profundidad debe estar entre 5:1 y 25:1.  
[RAS,2000]

### **C. Metodología de diseño “Criterios de diseño para sedimentadores horizontales (convencionales) por la Universidad Nacional Abierta a Distancia “**

Es necesario considerar los siguientes factores en el diseño de la zona de sedimentación: carga superficial, periodo de detención y profundidad, forma de los sedimentadores, velocidad horizontal de escurrimiento, relación largo–profundidad y número de unidades.

- **Carga superficial:** es la relación entre el caudal que ingresa al sedimentador y el área superficial del sedimentador.

$$V_{sc} = \frac{Q}{A}$$

Dicho parámetro se refiere a la velocidad crítica mínima que produzca una eficiencia remocional esperada, comprendida entre el 70% y el 98%. Su valor depende de los siguientes factores: calidad del agua cruda, peso y grado de hidratación del floc, forma y tipo de decantador adoptado, control del proceso, tipo de coagulante utilizado y grado de eficiencia deseado.

- Periodo de detención : es el tiempo que tarda la partícula crítica en llegar desde la superficie del agua hasta el fondo de la zona de sedimentación y por consiguiente depende de la profundidad, esto es, cuando menor sea ésta, menor será el tiempo de detención necesario para la remoción de la partícula crítica.
- Debe seleccionarse una profundidad según el criterio y necesidad
- Para tanques rectangulares se debe cumplir ciertas relaciones entre el largo y el ancho.
- Velocidad horizontal: la velocidad produce dos efectos opuestos. Ayuda a la floculación en los tanques aumentando el peso y el tamaño de las partículas que se desean remover, y arrastra y re suspende los flóculos ya depositados. Por consiguiente el valor de la velocidad debe ser tal que estimule la floculación sin producir arrastre de sólidos.
- La pendiente longitudinal de fondo debe ser mayor al 2%

Se utilizan criterios de diseño según la siguiente tabla (ver Figura 9):

**Figura 9. Criterios de diseño (diferentes autores)**

Criterio	Dimensiones					CS (m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> ·d)	t (h)	Q/l (L/s·m)	V <sub>h</sub> (cm/s)
	h (m)	B (m)	L (m)	L/B	L/h				
Asce-Awwa-CSSE	> 3		<75	3-5	14-44	2-4	1,7-3,7	0,25-1,5	
Insfopal				3-5	7-30	15-90		2-7	<1,25
Cepis	3-4	<12	<48			14-24	4-6	<1,7	<0,25
Fair y Geyer						72			
Azevedo Netto						20-60			
Smethurst						18-27			<2,0
Peavy, Rowe, Tchobanoglous		3,5-10	15-40	2-4	10-20				
RAS 2000	4-5			4-8	5-25	15-30	2-4	1,7-3,6	1,0

h=profundidad; B=ancho; L=longitud; Q/l=carga sobre el vertedero; V<sub>h</sub>=velocidad horizontal del flujo.

[Universidad Nacional Abierta a Distancia, 2008]

## VI. Metodología de diseño

Para establecer la metodología a utilizar es necesario hacer pruebas con muestras del agua que se va a tratar para determinar una velocidad de sedimentación real de las partículas. Establecer si se va a tener un tratamiento previo como podría ser un floculador, u algún otro medio que modifique el tamaño de las partículas que se van a tratar posteriormente con el sedimentador.

Con esto previamente definido se fijan los valores de velocidad de sedimentación para la partícula más pequeña a remover y/o la carga hidráulica con la que se quiere diseñar.

Es de resaltar que las metodologías calculan el área superficial por medio de una relación entre el caudal de entrada y la velocidad de sedimentación. Y así mismo se deben cumplir con ciertos criterios como la carga hidráulica que también tiene una relación por medio del caudal de entrada sobre el área superficial.

Es por ello que se establece una relación que le permita a cualquier persona calcular las dimensiones del sedimentador cumpliendo con el criterio de la carga superficial.

La ecuación para el cálculo de área superficial es:

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

Donde:

A: Área en m<sup>2</sup>

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/s

V<sub>s</sub>: Velocidad de sedimentación en m/s

La ecuación para la carga hidráulica es:

$$q_s = \frac{Q}{A}$$

Donde:

A: Área en m<sup>2</sup>

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/d

q<sub>s</sub>: Carga hidráulica en m<sup>3</sup>/d \* m<sup>2</sup>

Dadas las ecuaciones anteriores se puede establecer una relación para determinar el rango de velocidades de sedimentación en las cuales cada metodología opera según el rango de carga hidráulica.

Se establece que:

Igualando para ambas ecuaciones para el área superficial.

$$\frac{Q \text{ m}^3/\text{s}}{V_s \text{ m/s}} = \frac{Q \text{ m}^3/\text{d}}{q_s \frac{\text{m}^3}{\text{d} * \text{m}^2}}$$

Por lo tanto se tiene una relación de la velocidad de sedimentación y la carga hidráulica:

$$q_s \frac{\text{m}^3}{\text{d} * \text{m}^2} = V_s \frac{\text{m}}{\text{s}} * (60 * 60 * 24) \quad \text{o} \quad q_s \frac{\text{m}^3}{\text{d} * \text{m}^2} = V_s \frac{\text{m}}{\text{d}}$$

Dada la relación anterior establece un rango de velocidad de sedimentación para cada metodología según la carga hidráulica. Para ello se presenta la siguiente tabla que representa los rangos aplicables.

**Tabla 1. Velocidad de sedimentación de trabajo para metodologías de acuerdo al rango de carga hidráulica**

Método	Carga hidráulica (m <sup>3</sup> /d*m <sup>2</sup> )		Velocidad de sedimentación (m/s)		Velocidad de sedimentación (cm/s)	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
ASCE - AWWA-CSSE	2	4	2.31481E-05	4.62963E-05	0.002314815	0.00462963
Insfopal	15	90	0.000173611	0.001041667	0.017361111	0.104166667
Cepis	14	24	0.000162037	0.000277778	0.016203704	0.027777778
Fair y Geyer	72	72	0.000833333	0.000833333	0.083333333	0.083333333
Azevedo Netto	20	60	0.000231481	0.000694444	0.023148148	0.069444444
Smethurst	18	27	0.000208333	0.0003125	0.020833333	0.03125
Peavy, Rowe, Tchobanoglous	x	x	x	x	x	x
Ras 200	15	30	0.000173611	0.000347222	0.017361111	0.034722222
OPS	2	10	2.31481E-05	0.000115741	0.002314815	0.011574074

[Realización propia]

Bajo estas indicaciones se determina el área superficial de diseño.

Posteriormente al cálculo del área superficial del sedimentador se debe obtener un ancho para el sedimentador. Para el cálculo del ancho del sedimentador no hay una ecuación específica. Cada metodología tiene rangos de trabajo bajo los cuales el diseñador debe determinar un ancho de que este dentro del rango de trabajo que cada metodología propone y cumplir ciertas relaciones entre las dimensiones del sedimentador que involucran el ancho del mismo.

**Tabla 2. Anchos de diseño**

Método	Ancho (m)	
	Inferior	Superior
ASCE - AWWA-CSSE	x	x
Insfopal	x	x
Cepis	menor a	12
Fair y Geyer	x	x
Azevedo Netto	x	x
Smethurst	x	x
Peavy, Rowe, Tchoba	3.5	10
Ras 200	x	x
OPS	x	x

[Realización propia]

Al establecer un ancho, se debe obtener el largo del sedimentador. Primero se obtiene la longitud de la zona de sedimentación, la cual es considerada desde la pantalla difusora hasta el final del sedimentador (ver Anexo 1). La ecuación para determinar la longitud de la zona de sedimentación es la siguiente:

$$L2 = \frac{As}{B}$$

Donde:

L2: Longitud del área de sedimentación

As: Área superficial

B: Ancho del sedimentador

La longitud total del sedimentador está conformada por la zona de sedimentación y la zona entre la entrada y la pantalla difusora. La distancia de la pantalla difusora (L1) es de entre 0.7m a 1m de distancia según las recomendaciones de la OPS.

La longitud total del sedimentador es:  $L = L1 + L2$

Para las siguientes metodologías existen límites de longitud de diseño para el sedimentador.

**Tabla 3. Longitud mínima de diseño**

Método	Longitud (m)	
	inferior	superior
ASCE - AWWA-CSSE	menor a	75
Cepis	menor a	48
Peavy, Rowe, Tchobanoglous	15	40

[Realización propia]

Se debe verificar si cumple la relación de L/H de los criterios de diseño

**Tabla 4. Criterio de diseño longitud/ancho**

Método	Relacion L/B	
	inferior	Superior
ASCE - AWWA-CSSE	3	5
Insfopal	3	5
Cepis	x	X
Fair y Geyer	x	X
Azevedo Netto	x	X
Smethurst	x	X
Peavy, Rowe, Tchobanoglous	2	4
Ras 2000	4	8
OPS	3	6

[Realización propia]

Posteriormente se propone una profundidad para el sedimentador (ver Anexo 1).

**Tabla 5. Altura de diseño del sedimentador**

<b>Método</b>	<b>Altura (m)</b>	
	inferior	superior
ASCE - AWWA-CSSE	3	o mayor
Insfopal	x	X
Cepis	3	4
Fair y Geyer	x	X
Azevedo Netto	x	X
Smethurst	x	X
Peavy, Rowe, Tchobanoglous	x	X
Ras 2000	4	5
OPS	1.5	2.5

[Realización propia]

Se debe verificar si cumple con las relaciones L/H de los criterios de diseño:

**Tabla 6. Criterio de diseño longitud/ancho**

<b>Método</b>	<b>Relacion L/H</b>	
	inferior	superior
ASCE – AWWA-CSSE	14	44
Insfopal	7	30
Cepis	x	X
Fair y Geyer	x	X
Azevedo Netto	x	X
Smethurst	x	X
Peavy, Rowe, Tchobanoglous	10	20
Ras 2000	5	25
OPS	5	20

[Realización propia]

Se determina la velocidad horizontal del sedimentador.

$$V_h = \frac{100 * Q}{B * H}$$

Hay límites de velocidad horizontal para algunas metodologías.

**Tabla 7. Velocidad horizontal recomendada**

Método	Velocidad horizontal (cm/s)	
	inferior	superior
ASCE - AWWA-CSSE	x	X
Insfopal	menor a	1.25
Cepis	menor a	0.25
Fair y Geyer	x	X
Azevedo Netto	x	X
Smethurst	menor a	2
Peavy, Rowe, Tchobanoglous	x	X
Ras 2000	menor a	1
OPS	x	X

[Realización propia]

Ahora se determina el periodo de retención para las partículas sedimentables.

$$T_o = \frac{\text{volumen}}{\text{caudal}}$$

**Tabla 8. Tiempo de retención recomendada**

Método	Tiempo de detención (h)	
	inferior	Superior
ASCE - AWWA-CSSE	1.7	3.7
Insfopal	x	X
Cepis	4	6
Fair y Geyer	x	X
Azevedo Netto	x	X
Smethurst	x	X
Peavy, Rowe, Tchobanoglous	x	X
Ras 2000	2	4
OPS	2	6

[Realización propia]

Para el diseño de la pantalla difusora

- Se asume una velocidad de paso entre los orificios.  
La Organización Panamericana de la salud sugiere trabajar con una velocidad de 0.1 m/s.
- Se determina el área total de los orificios (A0):

$$A_o = \frac{Q}{V_o}$$

Donde:

Q= Caudal de diseño.

Vo= Velocidad de paso entre los orificios.

- Se adopta un diámetro de orificio.  
La Organización Panamericana de la Salud sugiere un diámetro de 0.75m
- Se determina el área de cada orificio (ao)
- Se determina el número de orificios (n):

$$n = \frac{Ao}{ao}$$

Donde:

Q= Caudal de diseño

Vo= Velocidad de paso entre los orificios

- Se determina la porción de altura de la pantalla difusora con orificios (h):

$$h = H - \frac{2}{5}H$$

Donde:

H= Profundidad del sedimentador en la porción más profunda.

- Se asume un número de filas de orificios (nf), obteniéndose por tanto el número de columnas de orificios (nc).
- Se determina el espaciamiento entre filas (a1):

$$a1 = \frac{h}{nf}$$

- Se determina el espaciamiento entre columnas (a2):

$$a2 = \frac{B}{nc + 1}$$

Donde:

B= Ancho del sedimentador

## VII. Análisis de metodologías de diseño

Dado que todas las metodologías de diseño tienen un rango de carga hidráulica para la cual trabajan. Se realizó una propuesta de tres rangos de carga hidráulica para que se pudiera hacer análisis de las metodologías ya que una de las limitantes es la carga hidráulica que estas presentan. Es por ello que todas las metodologías se procederán a diseñar para cada una de las diferentes cargas hidráulicas, aunque no sea el rango de diseño para la cual el autor denota que debe trabajar.

Con el afán de hacer comparaciones relevantes del estudio de cada metodología ya que estas hacen propuestas de relaciones geométricas en base a experiencia.

Las cargas hidráulicas de diseño son de 4, 22 y 72  $\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2$ .

Las metodologías de diseño que se a analizaran son:

- ASCE – AWWA-CSSE
- Insfopal
- Peavy, Rowe, Tchobanoglous
- RAS 2000
- OPS

Estas metodologías son las que requieren una mayor cantidad de criterios de diseño para su dimensionamiento y por ello se consideran que con las metodologías con mayor validez para diseñar.

Todas las metodologías fueron analizadas para un caudal de 4 y 20  $\text{m}^3/\text{s}$  para ejemplificar las diferencias y efectos de la variabilidad de caudal en el diseño. También se estableció que para todos los métodos la pantalla difusora iba a estar a 70 cm del principio del sedimentador.

### A. Diseño con carga hidráulica de 4 $\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2$ y caudal de 4 Lts/s

Método	Área de sedimentacion		Ch ( $\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2$ )
	VS (m/s)	Área ( $\text{m}^2$ )	
ASCE - AWWA-CSSE	4.62963E-05	86.4	4
Insfopal	4.62963E-05	86.4	4
Peavy, Rowe, Tchobanoglous	4.62963E-05	86.4	4
Ras 2000	4.62963E-05	86.4	4
OPS	4.62963E-05	86.4	4

## Ancho de diseño

<b>Método</b>	<b>Ancho (m)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	4.23
Insfopal	4.23
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	4.74
Ras 2000	3.34
OPS	3.86

## Longitud de sedimentación

<b>Método</b>	<b>L2 (m)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	20.43
Insfopal	20.43
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	18.23
Ras 2000	25.87
OPS	22.38

Para este primer diseño el ancho propuesto es el que de la menor relación de largo sobre ancho, ya que es más beneficioso tener una mayor longitud de sedimentador para poder cumplir con diferentes criterios de diseño posteriores a obtener la relación largo sobre ancho.

## Largo total del sedimentador

<b>Método</b>	<b>L (m)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	21.13
Insfopal	21.13
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	18.93
Ras 2000	26.57
OPS	23.08

## Chequeo de la relación L/B

<b>Método</b>	<b>Relacion L/B</b>
ASCE - AWWA-CSSE	5.00
Insfopal	5.00
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	4.00
Ras 2000	7.95
OPS	5.98

## Altura de diseño

<b>Método</b>	<b>Altura (m)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	3
Insfopal	2
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	1.88
Ras 2000	4
OPS	1.5

## Relación L/H

<b>Método</b>	<b>Relacion L/H</b>
ASCE - AWWA-CSSE	7.04
Insfopal	10.56
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	10.07
Ras 2000	6.64
OPS	15.39

A partir de este punto la metodología ASCE-AWWA-CSSE deja de ser funcional ya que no se puede obtener un valor dentro del rango que cumpla con la relación L/H. Para cumplir con ellas se utiliza la menor altura posible en cada método, exepctuando la metodología de Peavy, Rowe y Tchobanoglous.

## Velocidad Horizontal

<b>Método</b>	<b>Velocidad horizontal (cm/s)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	0.032
Insfopal	0.047
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	0.045
Ras 2000	0.030
OPS	0.069

## Tiempo de retención

<b>Método</b>	<b>Tiempo de retención (h)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	18
Insfopal	12
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	11.28
Ras 2000	24
OPS	9

Este último criterio deja con ninguna metodología funcional. Es imposible que alguna de las metodologías cumpla bajo el criterio de tiempo de retención. Este problema se ve directamente afectado por la velocidad de sedimentación.

## B. Diseño con carga hidráulica de $4 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2$ y caudal de 20 Lts/s

<b>Método</b>	<b>Área de sedimentacion</b>		<b>Ch (<math>\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2</math>)</b>
	<b>VS (m/s)</b>	<b>Área (<math>\text{m}^2</math>)</b>	
ASCE - AWWA-CSSE	4.62963E-05	432	4
Insfopal	4.62963E-05	432	4
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	4.62963E-05	432	4
Ras 2000	4.62963E-05	432	4
OPS	4.62963E-05	432	4

Ancho de diseño

<b>Método</b>	<b>Ancho (m)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	9.37
Insfopal	9.37
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	11
Ras 2000	7.4
OPS	8.77

Longitud de sedimentación

<b>Método</b>	<b>L2 (m)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	46.11
Insfopal	46.11
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	39.27
Ras 2000	58.38
OPS	49.26

Largo total del sedimentador

<b>Método</b>	<b>L (m)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	46.81
Insfopal	46.81
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	39.97
Ras 2000	59.08
OPS	49.96

## Chequeo de la relación L/B

<b>Método</b>	<b>Relacion L/B</b>
ASCE - AWWA-CSSE	5.00
Insfopal	5.00
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	3.63
Ras 2000	7.98
OPS	5.70

Para estos cálculos se tienen anchos de sedimentadores considerables en tamaño y se puede ver que el caudal ha afectado directamente las dimensionales que este tiene.

## Altura de diseño

<b>Método</b>	<b>Altura (m)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	3
Insfopal	2
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	2
Ras 2000	4
OPS	2.5

## Relación L/H

<b>Método</b>	<b>Relacion L/H</b>
ASCE - AWWA-CSSE	15.60
Insfopal	23.40
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	19.99
Ras 2000	14.77
OPS	19.98

## Velocidad horizontal

<b>Método</b>	<b>Velocidad horizontal (cm/s)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	0.071
Insfopal	0.107
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	0.091
Ras 2000	0.068
OPS	0.091

Tiempo de retención

Método	Tiempo de retención (h)
ASCE - AWWA-CSSE	18
Insfopal	12
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	12
Ras 2000	24
OPS	15

El tiempo de retención no cumple para ninguno de los métodos de diseño. Aunque las relaciones dimensionales son totalmente diferentes exceptuando la altura, se aprecia que el tiempo de retención es el mismo que en el caso anterior haciendo caso aparte a la metodología de RAS 2000 donde aumenta dado que con el valor más pequeño de altura es el menor tiempo de retención que nos da. Y sobre todo es donde vemos que la altura del sedimentador gobierna el tiempo de retención del sedimentador.

### C. Diseño con carga hidráulica de $22 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2$ y caudal de 4 Lts/s

Método	Área de sedimentación		Ch ( $\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2$ )
	VS (m/s)	Área ( $\text{m}^2$ )	
ASCE - AWWA-CSSE	0.00025	15.71	22
Insfopal	0.00025	15.71	22
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	0.00025	15.71	22
Ras 2000	0.00025	15.71	22
OPS	0.00025	15.71	22

Ancho de diseño

Método	Ancho (m)
ASCE - AWWA-CSSE	1.85
Insfopal	1.85
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	3.50
Ras 2000	1.50
OPS	1.68

Longitud de sedimentación

Método	L2 (m)
ASCE - AWWA-CSSE	8.49
Insfopal	8.49
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	4.49
Ras 2000	10.47
OPS	9.35

En este caso particular el área superficial es menor al primer caso con una carga hidráulica de  $4 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2$ . Esto permite ajustar al mínimo los anchos de diseño aunque esto ajusta en cuanto a las relaciones largo sobre ancho y largo sobre alto.

Largo total del sedimentador

<b>Método</b>	<b>L (m)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	9.19
Insfopal	9.19
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	5.19
Ras 2000	11.17
OPS	10.05

Por el criterio de longitud mínima la metodología de Peavy, Rowe, Tchobanoglous ya no es diseñable. Esta metodología requiere un largo mínimo de 15 metros de longitud.

Chequeo de la relación L/B

<b>Método</b>	<b>Relacion L/B</b>
ASCE - AWWA-CSSE	4.97
Insfopal	4.97
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	1.48
Ras 2000	7.45
OPS	5.98

Altura de diseño

<b>Método</b>	<b>Altura (m)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	3
Insfopal	2
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	2
Ras 2000	4
OPS	1.9

Relación L/H

<b>Método</b>	<b>Relacion L/H</b>
ASCE - AWWA-CSSE	3.06
Insfopal	4.59
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	2.59
Ras 2000	2.79
OPS	5.29

A partir de este punto solo la metodología OPS cumple con los criterios de diseño. Esto se debe a que la altura mínima de este método es la más pequeña de todas. Esto nos permite ante áreas superficiales pequeñas hacer un diseño geométrico factible.

Velocidad horizontal

Método	Velocidad horizontal (cm/s)
ASCE - AWWA-CSSE	0.072
Insfopal	0.108
Peavy, Rowe, Tchobanoglous	0.057
Ras 2000	0.066
OPS	0.125

Tiempo de retención

Método	Tiempo de retención (h)
ASCE - AWWA-CSSE	3.27
Insfopal	2.18
Peavy, Rowe, Tchobanoglous	2.18
Ras 2000	4.36
OPS	2.07

La metodología de la OPS ha cumplido con todas sus especificaciones para este problema propuesto.

#### D. Diseño con carga hidráulica de $22 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2$ y caudal de 22 Lts/s

Método	Área de sedimentación		Ch ( $\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2$ )
	VS (m/s)	Área ( $\text{m}^2$ )	
ASCE - AWWA-CSSE	0.00025	86.4	22
Insfopal	0.00025	86.4	22
Peavy, Rowe, Tchobanoglous	0.00025	86.4	22
Ras 2000	0.00025	86.4	22
OPS	0.00025	86.4	22

Para este caso no se trabajó con un caudal de 20 litros/segundo sino con 22 litros/segundo para tener la misma área de diseño que en el primer caso con carga hidráulica de  $4 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2$ .

## Ancho de diseño

<b>Método</b>	<b>Ancho (m)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	4.23
Insfopal	4.23
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	4.74
Ras 2000	3.34
OPS	3.86

## Longitud de sedimentación

<b>Método</b>	<b>L2 (m)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	20.43
Insfopal	20.43
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	18.23
Ras 2000	25.87
OPS	22.38

## Largo total del sedimentador

<b>Método</b>	<b>L (m)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	21.13
Insfopal	21.13
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	18.93
Ras 2000	26.57
OPS	23.08

## Chequeo de la relación L/B

<b>Método</b>	<b>Relacion L/B</b>
ASCE - AWWA-CSSE	5
Insfopal	5
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	4.00
Ras 2000	7.95
OPS	5.98

## Altura de diseño

<b>Método</b>	<b>Altura (m)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	3.00
Insfopal	2.00
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	1.88
Ras 2000	4.00
OPS	1.84

## Relación L/H

<b>Método</b>	<b>Relacion L/H</b>
ASCE - AWWA-CSSE	7.04
Insfopal	10.56
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	10.07
Ras 2000	6.64
OPS	12.55

En este punto la metodología ASCE-AWWA-CSSE no cumple con el criterio de diseño L/H y deja de ser viable para su diseño.

## Velocidad horizontal

<b>Método</b>	<b>Velocidad horizontal (cm/s)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	0.17
Insfopal	0.26
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	0.25
Ras 2000	0.16
OPS	0.31

## Tiempo de retención

<b>Método</b>	<b>Tiempo de retención (h)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	3.27
Insfopal	2.18
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	2.05
Ras 2000	4.36
OPS	2.01

La metodología RAS2000 no cumple el criterio de tiempo de retención bajo el caudal de diseño.

### E. Diseño con carga hidráulica de $72 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2$ y caudal de 4 Lts/s

<b>Método</b>	<b>Área de sedimentación</b>		<b>Ch (<math>\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2</math>)</b>
	<b>VS (m/s)</b>	<b>Área (<math>\text{m}^2</math>)</b>	
ASCE - AWWA-CSSE	0.00083	4.8	72
Insfopal	0.00083	4.8	72
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	0.00083	4.8	72
Ras 2000	0.00083	4.8	72
OPS	0.00083	4.8	72

Bajo estos criterios de diseño no es posible diseñar ningún sedimentador.

### F. Diseño con carga hidráulica de $72 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2$ y caudal de 20 Lts/s

<b>Método</b>	<b>Área de sedimentación</b>		<b>Ch (<math>\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2</math>)</b>
	<b>VS (m/s)</b>	<b>Área (<math>\text{m}^2</math>)</b>	
ASCE - AWWA-CSSE	0.00083	24	72
Insfopal	0.00083	24	72
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	0.00083	24	72
Ras 2000	0.00083	24	72
OPS	0.00083	24	72

Ancho de diseño

<b>Método</b>	<b>Ancho (m)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	2.27
Insfopal	2.27
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	3.50
Ras 2000	1.78
OPS	2.06

Longitud de sedimentación

<b>Método</b>	<b>L2 (m)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	10.56
Insfopal	10.56
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	6.86
Ras 2000	13.48
OPS	11.65

Largo total del sedimentador

<b>Método</b>	<b>L (m)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	11.27
Insfopal	11.27
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	7.56
Ras 2000	14.18
OPS	12.35

La metodología Peavy, Rowe, Tchobanoglous deja de ser funcional ya que no cumple con el mínimo de longitud de 15 metros.

Chequeo de la relación L/B

<b>Método</b>	<b>Relacion L/B</b>
ASCE - AWWA-CSSE	4.97
Insfopal	4.97
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	2.16
Ras 2000	7.97
OPS	6.00

Altura de diseño

<b>Método</b>	<b>Altura (m)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	3
Insfopal	2
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	2
Ras 2000	4
OPS	1.5

Relación L/H

<b>Método</b>	<b>Relacion L/H</b>
ASCE - AWWA-CSSE	3.76
Insfopal	5.64
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	3.78
Ras 2000	3.55
OPS	8.23

Para este punto de diseño, ya solo la metodología de OPS cumple con los criterios de diseño.

## Velocidad horizontal

<b>Método</b>	<b>Velocidad horizontal (cm/s)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	0.29
Insfopal	0.44
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	0.29
Ras 2000	0.28
OPS	0.65

## Tiempo de retención

<b>Método</b>	<b>Tiempo de retención (h)</b>
ASCE - AWWA-CSSE	1
Insfopal	0.66
Peavy, Rowe,Tchobanoglous	0.66
Ras 2000	1.33
OPS	0.5

Para este punto ninguna de las metodologías cumple con el criterio de retención. El tiempo de retención es un problema recurrente para el cumplimiento de los criterios de diseño de todas las metodologías.



## VIII. Propuesta de diseño

El diseño que mejor se adapta a las diferentes condiciones de diseño según los diferentes problemas propuestos, es la metodología de la Organización Panamericana de la Salud.

Se recomienda esta metodología dado que en todas las metodologías es el que mejor resultados ha mostrado. No debido a que su diseño se pueda cumplir al 100%, sino porque en la mayoría de los casos logra cumplir la mayor cantidad de parámetros de diseño.

Por lo tanto se sugiere el siguiente diseño bajo las siguientes recomendaciones.

1. Se adoptaran los parámetros de diseño de la Organización Panamericana de la Salud.
2. Se establecerá un ancho de diseño tal que obtengamos la mayor relación largo sobre ancho cumpliendo los criterios los límites de la metodología. Hay que tomar en cuenta que el diseño debe ser lógico y coherente. Por ello se sugiere un ancho mínimo de entre 2 a 3.5 metros para empezar el diseño.
3. El largo será el resultado de la división del área superficial sobre el ancho propuesto.
4. El largo total será el largo de sedimentación más 0.7 a 1 metro de distancia que se le sumara, la cual pertenece a la distancia del área de entrada a la pared de retención. Estos parámetros son los propuestos por diferentes metodologías y son a consideración del diseñador el lugar de colocación de la pared de retención.
5. La relación largo sobre ancho se debe mantener lo más grande para evitar complicaciones en el diseño en las siguientes secciones.
6. La altura a considerar es de 1.5 a 2.5 metros de altura como lo recomienda la metodología.
7. La relación largo sobre alto debe de procurar que sea la más grande posible. Ya que la altura es nuestra única variable que afecta directamente el tiempo de retención de la partícula en el sedimentador y la metodología generalmente nos obliga a mantener la altura lo más baja posible.
8. De acuerdo a diferentes fuentes, se recomienda mantener la velocidad horizontal menor a 1cm/s para evitar que las partículas se sedimenten fuera del área de sedimentación.
9. Para el tiempo de retención se debe tratar de mantener dentro de los rangos de diseño que da la metodología.



## IX. Programa de diseño según la metodología de la Organización Panamericana de la Salud

Para poder realizar el diseño debemos establecer el caudal de diseño y la velocidad de sedimentación para la cual debe trabajar el sedimentador.

El caudal de diseño será:

$$Q := 0.02 \frac{m^3}{seg}$$

La velocidad de sedimentación será:

$$V_s := 0.0011 \frac{m}{seg}$$

Determinamos posteriormente la geometría del sedimentador.

Se determina el área superficial del sedimentador

$$A_s := \frac{Q}{V_s} = 18.182 \text{ m}^2$$

Se asume un ancho del sedimentador y se determina la longitud de la zona de sedimentación

$$B := 2.4 \text{ m}$$

$$L_2 := \frac{A_s}{B} = 7.576 \text{ m}$$

Se asume la distancia de separación entre la entrada y la pantalla difusora

$$L_1 := 0.7 \text{ m}$$

La longitud total del sedimentador debe ser :

$$L := L_1 + L_2 = 8.276$$

Se verifica que se cumpla con la relación L/B de la metodología. Aquí se realizó una programación que permite identificar que el diseño no está dentro de rango de valor mínimo o máximo que propone esta metodología.

Se verifica si cumple la relación L/B de los criterios de diseño

$$LB := \begin{cases} \text{if } \frac{L}{B} < 3 \\ \quad \parallel \text{ "No cumple" } \\ \text{else if } \frac{L}{B} > 6 \\ \quad \parallel \text{ "No cumple" } \\ \text{else if } \frac{L}{B} < 6 \\ \quad \parallel \frac{L}{B} \end{cases} = 3.448$$

Se define la altura del sedimentador y se verifica la relación L/H de la metodología. Así como para la relación L/B se tiene una programación que permite verificar que el diseño se encuentra dentro del rango de diseño.

Se asume una profundidad entre 1.5 y 2.5 metros

$$H := 1.5 \quad m$$

Se verifica si cumple la relación L/H de los criterios de diseño

$$LB := \begin{cases} \text{if } \frac{L}{H} < 5 \\ \quad \parallel \text{ "No cumple" } \\ \text{else if } \frac{L}{H} > 20 \\ \quad \parallel \text{ "No cumple" } \\ \text{else if } \frac{L}{H} < 20 \\ \quad \parallel \frac{L}{H} \end{cases} = 5.517$$

Ya que obtenemos una geometría posible. Se calcula la velocidad horizontal y el tiempo de retención del sedimentador.

Se determina la velocidad horizontal  $V_h$

$$V_h := \frac{100 \cdot Q}{B \cdot H} = 0.556 \frac{cm}{seg}$$

Se determina el periodo de retención

$$T_o := \frac{A_s \cdot H}{Q \cdot 3600} = 0.379 \text{ horas}$$

$$min := T_o \cdot 60 = 22.727 \text{ minutos}$$

Se define la pendiente del sedimentador y calculamos la máxima altura que pueda tener donde se localiza la pantalla difusora.

Se define una pendiente del sedimentador entre 5% y 10%

$$P := 0.1$$

Determinamos la altura máxima del sedimentador

$$H' := H + (P \cdot L_2) = 2.258$$

Realizamos el diseño de la pantalla difusora.

Para el diseño de la pantalla difusora se tiene:  
Asumimos la velocidad de paso entre los orificios  $V_o$

$$V_o := 0.1 \frac{m}{seg}$$

Determinamos el área total de los orificios

$$A_o := \frac{Q}{V_o} = 0.2 \text{ m}^2$$

Se adopta un diámetro de orificio:

$$d_o := 0.075 \text{ m}$$

Determinamos el área de cada orificio

$$ao := \frac{\pi}{4} do^2 = 0.0044$$

Se determina el número de orificios

$$n := \frac{Ao}{ao} = 45.271 \quad thresh := 1 \quad nr := \text{Round}(n, thresh) = 45$$

Se asume un número de filas de orificios  $nf$   
y número de columnas  $nc$

$$nf := 5 \quad nc := 9$$

Ver := if  $nf \cdot nc = nr$  | = "Geometria correcta"  
 || "Geometria correcta"  
 else if  $nf \cdot nc \neq nr$   
 || "Cambie el arreglo de orificios"

Ya con una propuesta lógica geométrica de la disposición de orificios en la pantalla difusora. Se determina cual es el espaciamiento horizontal y vertical de los orificios.

Se determina la porción de altura de la pantalla difusora con orificios

$$h := H - \left( \frac{2}{5} \cdot H \right) = 0.9 \quad m$$

Se determina el espaciamiento entre filas

$$a1 := \frac{h}{nf} = 0.18 \quad m$$

Se determina el espaciamiento entre columnas

$$a2 := \frac{B}{(nc + 1)} = 0.24 \quad m$$

## X. Conclusiones

- No se identificó algún parámetro del diseño que genere incidencia directa en las variables de diseños más que mantener una altura lo más baja posible permitiendo disminuir el tiempo de retención de las partículas.
- Se desarrolló un diagrama determinando los pasos necesarios para el diseño de un sedimentador de flujo horizontal en el cual se hace mención de aspectos importantes descubiertos durante la realización de este trabajo. Esto facilitara a cualquier persona hacer un diseño que logre cumplir con todos los criterios de diseño.
- Se determinó una sola metodología que presenta resultados lógicos en su procedimiento. Con ello no se logró determinar que metodología es mejor para las necesidades de Guatemala. Bajo la siguiente afirmación se recomienda trabajar con esta metodología que es la metodología de la Organización Panamericana de la Salud. Esto permitirá un diseño que cumpla con sus propios criterios de diseño.
- Ninguna metodología funciona para diferentes caudales de diseño ni velocidades de sedimentación diferentes sin obviar algunos criterios de diseño. Por lo cual es necesario determinar los efectos de los diferentes criterios físicamente para conocer su verdadera incidencia en el diseño.
- Se realizó un programa que permite hacer un diseño de sedimentador tomando en cuenta los criterios de la OPANA ya que esta metodología es la que presento los mejores resultados en cuanto a cumplimiento de los diferentes criterios de diseño.
- Para las metodologías de trabajo ASCE-AWWA-CSSE, RAS 2000 y OPS se debe considerar que para cumplir el tiempo de retención según sus rangos de trabajo para carga hidráulica. Las opciones de altura a utilizar más pequeñas y grandes son las siguientes.

Método	Rango de alturas de trabajo (h)	
	inferior	superior
ASCE - AWWA-CSSE	0.166666667	0.616666667
Ras 2000	1.25	5
OPS	0.166666667	2.5

Lo cual implica que es imposible hacer el diseño cumpliendo dicho requisito para cargas hidráulicas que estén aun dentro del rango de trabajo recomendado.

- Una carga hidráulica alta no permite hacer el diseño geométrico adecuado porque el área superficial para cumplir con estos criterios es demasiado pequeña y ello conlleva a no poder dimensionar las demás partes del sedimentador.
- Una carga hidráulica baja perjudica en el tiempo de retención que se debe cumplir.

- La metodología que permite trabajar la mayor cantidad parámetros bajo diferentes caudales y cargas hidráulicas es la metodología de la Organización Panamericana de la Salud.
- Estas metodologías son únicamente para dimensionar geoméricamente el sedimentador y permitir un funcionamiento correcto.
- Las metodologías ASCE-AWWA-CSSE y RAS 2000 manejan un rango de altura superior al de la OPS. Por lo cual en relación a la ecuación de retención de partículas se puede deducir que estas se podrían utilizar para caudales mayores a los 20lts/s.
- La pantalla difusora no tiene un método de dimensionamiento específico para el diámetro de sus agujeros ni distancia entre esta y la entrada del sedimentador. Solo sugiere una distancia entre 0.70 y 1 metro de distancia por lo cual sería relevante determinar qué efectos tiene la variabilidad de las dimensiones.
- Bajo una carga hidráulica de 22 ( $\text{m}^3/\text{d} \cdot \text{m}^2$ ) se ha comprobado la funcionalidad de la metodología de la OPS con lo cual podemos bajo el tipo de partícula a tratar, establecer el caudal que hacer funcional la metodología.

## XI. Recomendaciones

- Se recomienda un análisis de los efectos que pudieran tener las relaciones geométricas en el funcionamiento del sedimentador.
- Hasta no determinar los efectos que tiene la relación geométrica del sedimentador en su funcionamiento. Se recomienda trabajar con la metodología de la Organización Panamericana de la Salud en base a los resultados obtenidos.
- Lograr la relación L/B (Largo sobre Ancho) más alta posible, permitirá cumplir con las relaciones L/H (Largo sobre Alto).
- El ingeniero debe abocarse al código de diseño en concreto de su país para el chequeo de resistencia y deformación de los componentes del sedimentador bajo las cargas hidrostáticas, presión de terreno, etc.
- Analizar qué efectos tiene la pendiente de fondo del sedimentador sobre el manejo de lodos y partículas sedimentables.
- Determinar qué efectos puede tener el clima del lugar en el funcionamiento del sedimentador ya que esto podría influir grandemente en su eficiencia y funcionamiento.
- Se recomienda hacer control de la temperatura del agua en los procesos previos al sedimentador y del sedimentador para evitar que existan corrientes térmicas que impidan la sedimentación de partículas.
- Se recomienda la colocación de pantallas de árboles o algún material alrededor de la planta para evitar la alteración del flujo del agua por corrientes debidas al viento.
- Para la zona de lodos se recomienda trabajar con una pendiente de 2% mínima a 10% máxima.
- Para el diseño de plantas de tratamiento el INFOM presenta la “Guía de implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales”. Esta indica bajo que parámetros se debe empezar a diseñar la planta de tratamiento sin mencionar algún código de diseño o normativa de otro país bajo el cual estén generalizadas las plantas de tratamiento. Con ello se recomienda hacer un código o normativa para estandarizar los diseños de plantas de tratamiento y por ende los sedimentadores horizontales.
- Se recomienda trabajar con la metodología de la OPS bajo una carga hidráulica fija de  $22(m^3/d*m^2)$  y con ello variar el caudal de diseño conociendo la velocidad de sedimentación de las partículas a tratar.



## XII. Bibliografía

*Código ecuatoriano de la construcción de parte IX obras sanitarias.* 2012. Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias. Ecuador. 420 págs.

Destéfano, Javier. 2008. *Diseño preliminar de una planta de tratamiento de agua para el consumo humano en los distritos de Andahuaylas, San Jerónimo y Talavera de la Reyna, Provincia de Andahuaylas, Región Apurímac.* Tesis. Pontificia Universidad Católica de Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. 108 págs.

*Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores.* 2005. Organización Panamericana de la Salud. Lima. 34 págs.

Gomella, Cyril; Henri, Guerrée. 1977. *Tratamiento de aguas para abastecimiento público.* Canto Janer, Joaquín. Barcelona. Editores Técnicos Asociados S.A. 240 págs.

*Lección 8: Desbaste.* 2008. Universidad Nacional Abierta a Distancia. [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion\\_8\\_desbaste.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion_8_desbaste.html). Consulta el [ 16 de octubre de 2016]

*Lección 22: Sedimentadores.* 2008. Universidad Nacional Abierta a Distancia. [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/leccion\\_22\\_sedimentadores.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/leccion_22_sedimentadores.html) . Consulta el [ 16 de julio de 2016]

*Lección 37: Clasificación de los procesos de sedimentación.* 2008. Universidad Nacional Abierta a Distancia. [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido\\_en\\_linea\\_Diseño\\_de\\_Plantas\\_Potabilizadoras/leccion\\_37\\_clasificacin\\_de\\_los\\_procesos\\_de\\_sedimentacin.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Diseño_de_Plantas_Potabilizadoras/leccion_37_clasificacin_de_los_procesos_de_sedimentacin.html). Consulta el [27 de junio de 2016].

*Lección 39: Criterios de diseño para sedimentadores horizontales (convencionales).* 2008. Universidad Nacional Abierta a Distancia. [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido\\_en\\_linea\\_Diseño\\_de\\_Plantas\\_Potabilizadoras/leccion\\_39\\_criterios\\_de\\_diseño\\_para\\_sedimentadores\\_horizontales\\_convencionales.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Diseño_de_Plantas_Potabilizadoras/leccion_39_criterios_de_diseño_para_sedimentadores_horizontales_convencionales.html). Consulta el [27 de junio de 2016].

Olivos, Omar Eduardo. 2010. Presentación capítulo V: tratamiento primario. Lima. 66 págs.

Ordoñez, Alejandro. 2015. *Evaluación de un sedimentador de alta tasa con un modelo de dinámica de fluidos computacional (DFC).* Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. 110 págs.

Palencia, Adriana. 2004. *Diseño de una planta de purificación de agua para consumo humano en la vereda de Acapulco, municipio San Juan de Girón – Santander.* Tesis. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. 106 págs.

Pérez, Luis. 2005. Teoría de la sedimentación. Bogotá. 25 págs.

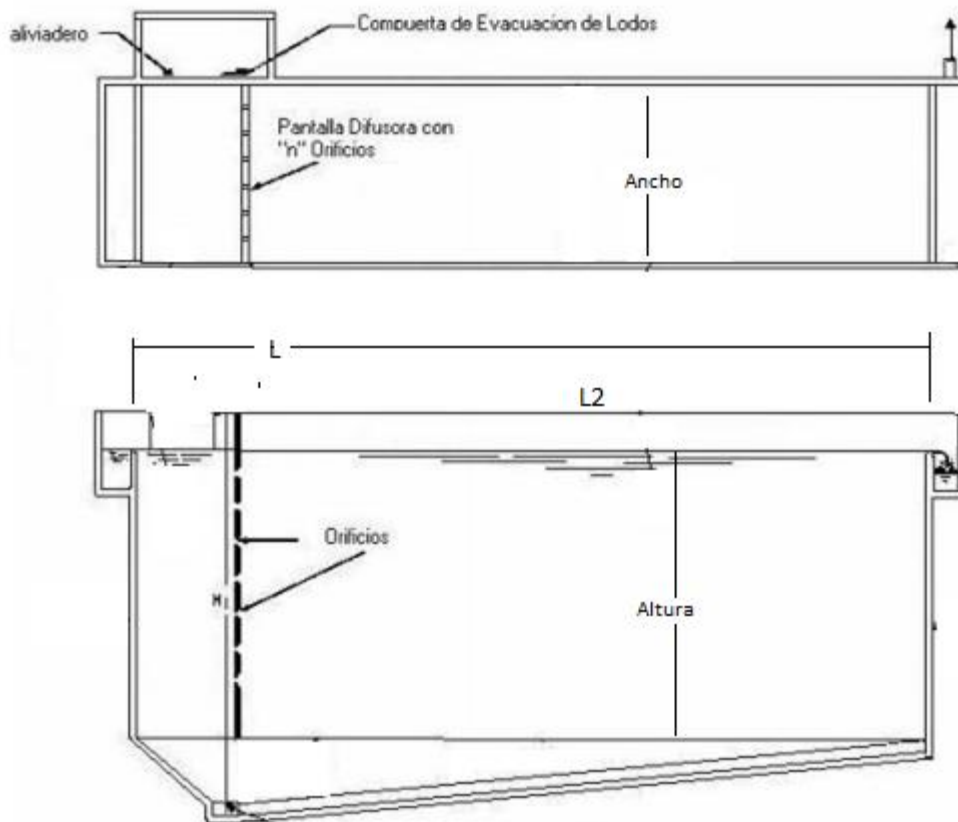
*Plantas de tratamiento de aguas.* 2011. Diseprosa. Madrid. 15 págs.

*Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000.* 2000. Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua potable y Saneamiento Básico. Bogotá. 198 págs.

Solano, Adriana; Segarra Edgar. 2006. *Tanques de sedimentación primaria para el tratamiento de aguas residuales*. Tesis. Universidad de Cuenca, Escuela de ingeniería Civil. 88 págs.

### XIII. Anexos

Imagen 1. Dimensiones del sedimentador



[Organización Panamericana de la salud, 2005]



## XIV. Glosario

**Aeración:** Proceso en el que se produce un contacto entre el aire y el agua con el objetivo de oxigenarla o de excluir gases o sustancias volátiles.

**Aboquillar:** Colocar una boquilla.

**Boquilla:** Dispositivo para aumentar la velocidad del agua.

**Caudal de diseño:** Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.

**Cloración:** Aplicación de cloro al agua, generalmente para desinfectar o para oxidar compuestos indeseables.

**Coagulación:** Aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes.

**Coagulantes:** Sustancias químicas que inducen el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas.

**Coloides:** Partículas muy pequeñas de 10 a 1000 Angstrom, que no se sedimentan si no son coaguladas previamente.

**Desarenador:** Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación.

**Desinfección:** Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua.

**Desinfectante:** Sustancia que tiene el poder de destruir microorganismos patógenos.

**Efluente:** Flujo proveniente de un sistema hidráulico.

**Filtración:** Proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso.

**Floculación:** Aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada.

**Floc o floculo:** Elemento generado a partir del proceso de floculación.

**Número de Reynolds:** Relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas de fricción.

$$Re = r \cdot V \cdot L / m$$

Donde r es densidad, V velocidad, L longitud característica y m viscosidad absoluta del agua.

**Osmosis:** Difusión que tiene lugar entre dos líquidos o gases capaces de mezclarse a través de un tabique o membrana semipermeable.

**Partículas:** Sólidos de tamaño lo suficientemente grande para poder ser eliminados por una filtración.

**Partícula discreta:** Partícula que no cambia de características durante la caída.

**Sedimentador o Decantador:** Dispositivo usado para separar, por gravedad, las partículas en suspensión en una masa de agua.

**Sedimentación:** Proceso de depósito y asentamiento por gravedad de la materia en suspensión en el agua.

**Sedimentación simple:** Proceso de depósito de partículas discretas.

**Sedimentos:** Materiales procedentes de la sedimentación.

**Sólidos decantables o sedimentables:** Fracción del total de sólidos en el agua que se separan de la misma por acción de la gravedad, durante un periodo determinado.

**Sólidos disueltos:** Mezcla de un sólido (soluto) en un líquido solvente en forma homogénea.

**Sólidos suspendidos:** Pequeñas partículas de sólidos dispersas en el agua; no disueltas.

**Turbiedad:** Claridad relativa del agua que depende, en parte, de los materiales en Suspensión en el agua.