

GUÍA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES



Lima, 2005

Tabla de contenido

	Página
1. Objetivo	3
2. Definiciones	3
3. Aplicación	3
4. Consideraciones generales	3
4.1. Pretratamiento y acondicionamiento previo	3
4.2. Unidades de acondicionamiento previo y pretratamiento	4
4.3. Variables que afectan la sedimentación	4
4.4. Información básica para el diseño	5
4.5. Estudio de campo	5
4.6. Alternativas de pretratamiento y acondicionamiento previo	5
4.7. Análisis de la calidad del agua de la fuente	7
4.8. Análisis de riesgo y vulnerabilidad de instalaciones	7
5. Diseño del desarenador	8
5.1. Componentes	8
5.2. Criterios de diseño	9
5.3. Dimensionamiento	14
6. Diseño del sedimentador	16
6.1. Componentes	16
6.2. Criterios de diseño	18
6.3. Dimensionamiento	20
7. Ejemplos aplicativos	21
7.1. Para diseño de un desarenador	21
7.2. Para diseño de un sedimentador	24
8. Bibliografía	27
Gráficos y anexos.....	28

Especificaciones técnicas para el diseño de desarenadores y sedimentadores

1. Objeto

Establecer criterios para el diseño de las unidades de pretatamiento y acondicionamiento previo, desarenadores y sedimentadores para sistemas de abastecimiento de agua rural.

2. Definiciones

- **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.
- **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.
- **Turbiedad:** Claridad relativa del agua que depende, en parte, de los materiales en suspensión en el agua.
- **Vertedero Sutro:** Dispositivo de control de velocidad

3. Aplicación

La aplicación de la presente guía será en sistemas rurales y pequeñas localidades.

4. Consideraciones generales

4.1. *Pretratamiento y acondicionamiento 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. 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.

4.2. *Unidades de acondicionamiento previo y pretratamiento*

a) Desarenador

Tiene por objeto separar del agua cruda la arena y partículas en suspensión gruesa, con el fin de evitar se produzcan depósitos en las obras de conducción, proteger las bombas de la abrasión y evitar sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento. El desarenado se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 0,2 mm.

b) Sedimentador

Similar objeto al desarenador pero correspondiente a la remoción de partículas inferiores a 0,2 mm y superiores a 0,05 mm.

4.3. *Variables que afectan la sedimentación*

a) 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).

b) Corrientes debidas al viento

El viento puede producir corrientes de suficiente intensidad como para inducir cambios en la dirección del flujo.

c) 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.

4.4. Información básica para el diseño

La información básica para el diseño es la siguiente:

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

4.5. Estudio de campo

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

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

4.6. Alternativas de pretratamiento y acondicionamiento previo

La selección de los procesos dependerá de la calidad del agua, los riesgos sanitarios involucrados, y la capacidad de la comunidad. Normalmente las plantas de tratamiento de agua en el medio rural utilizan los desarenadores y sedimentadores convencionales.

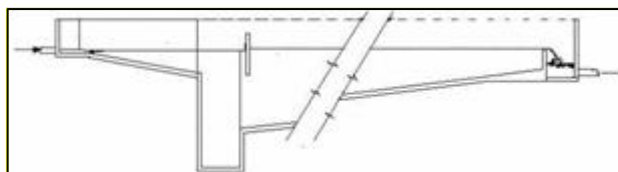


Figura 1. Desarenador convencional.

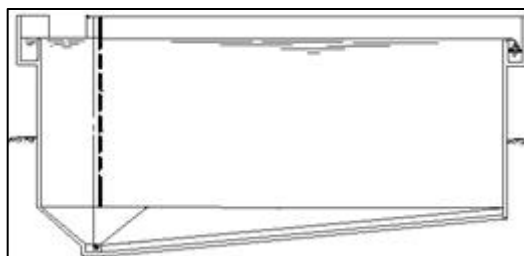
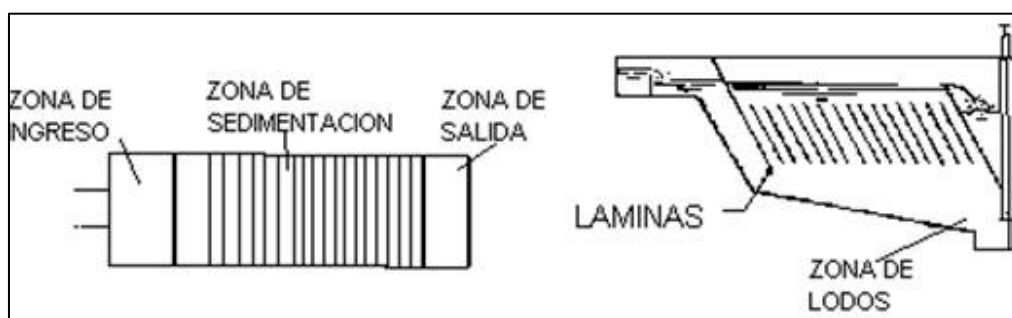


Figura 2. Sedimentador convencional.

En los casos donde la calidad del agua lo requiera y las características de la comunidad lo permitan se utilizarán sedimentadores laminares, que por su mayor complejidad constructiva, además del cuidado de la operación y mantenimiento es más recomendable para zonas rurales donde se pueda contar con mano de obra calificada.



Existe la posibilidad en caso de ser necesario, el acondicionamiento de placas o láminas en sedimentadores convencionales a fin de mejorar su eficiencia, transformándolos en sedimentadores laminares con la ventaja de contar con una mayor área de sedimentación por metro cuadrado de superficie.

En el cuadro 1 se muestra las distintas alternativas de pretratamiento del agua en el medio rural. (véase anexo 1).

Cuadro 1. Alternativas de pretratamiento de acuerdo a la calidad del agua cruda para plantas de Filtración lenta.

Turbiedad UNT	< 250	< 500	< 1000
E. Coli NMP			
< 1000 / 100 ml	Sedimentación	sedimentación	desarenación + sedimentación
< 10000 / 100 ml	sedimentación	sedimentación	desarenación + sedimentación

Todas las alternativas tienen prefiltros y filtros lentos.

4.7. *Análisis de la calidad del agua de la fuente*

Los análisis requeridos para la selección de un sistema de tratamiento deben basarse, como mínimo, en los siguientes parámetros básicos de calidad del agua.

- E. Coli, se aceptan como alternativa las bacterias coliformes fecales.
- Turbiedad.

En aquellos lugares donde se tenga evidencia de la existencia de sustancias nocivas o metales pesados se deberán exigir los análisis respectivos.

4.8. *Análisis de riesgo y vulnerabilidad de instalaciones*

Las instalaciones de tratamiento tienen que ser diseñadas bajo un análisis de riesgo y vulnerabilidad ante situaciones de desastres naturales y/o condiciones del entorno local a fin de proteger la infraestructura y el servicio de agua a la población.

a) Análisis de riesgo

Los diseños deben contemplar los riesgos que conllevan las amenazas más frecuentes de fenómenos naturales y otros predominantes en la zona: lluvias, sequías, sismos, etc., principalmente en cuanto a su ubicación.

b) Vulnerabilidad

De las estructuras e instalaciones a:

- Crecidas e inundaciones.
- Períodos de sequía.
- Contaminación de la fuente.
- Intensidad y magnitud de sismos.
- Erosión.

5. Diseño del desarenador

5.1. Componentes

Esta unidad se puede dividir en cuatro partes o zonas.

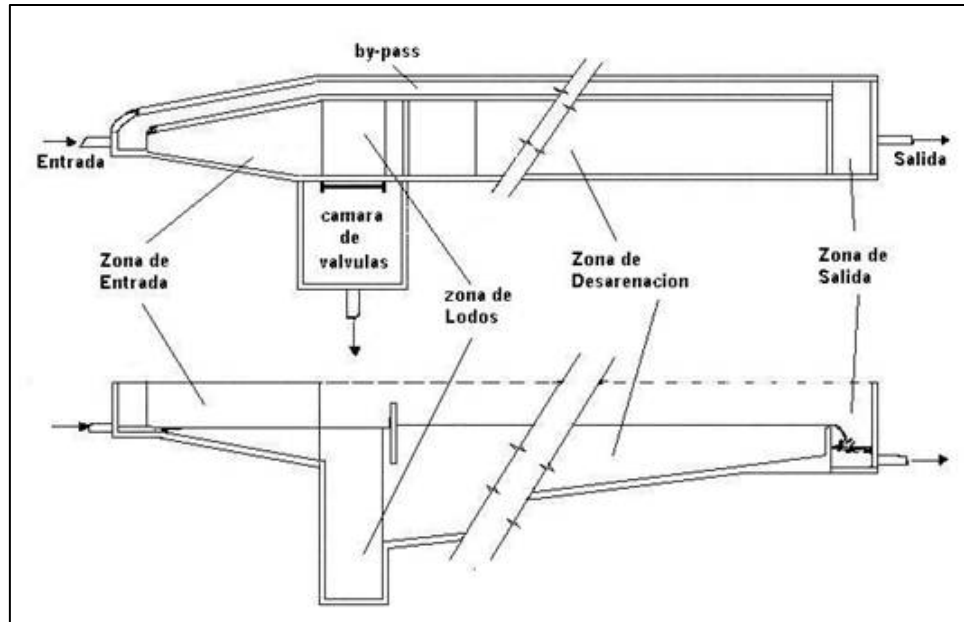


Figura 3. Desarenador (Planta y corte longitudinal).

a) Zona de entrada

Tiene como función el conseguir una distribución uniforme de las líneas de flujo dentro de la unidad, uniformizando a su vez la velocidad.

b) Zona de desarenación

Parte de la estructura en la cual se realiza el proceso de depósito de partículas por acción de la gravedad.

c) Zona de salida

Conformada por un vertedero de rebose diseñado para mantener una velocidad que no altere el reposo de la arena sedimentada.

d) Zona de depósito y eliminación de la arena sedimentada

Constituida por una tolva con pendiente mínima de 10% que permita el deslizamiento de la arena hacia el canal de limpieza de los sedimentos.

5.2. 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 2 para efectos de mantenimiento. En caso de caudales pequeños y turbiedades bajas se podrá contar con una sola unidad que debe contar con un canal de by-pass para efectos de mantenimiento.

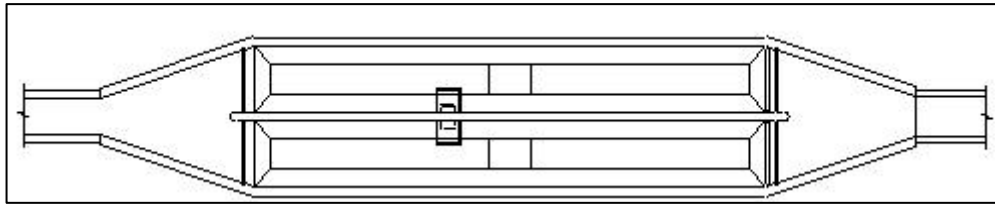


Figura 4. Desarenador de 2 unidades en paralelo (planta).

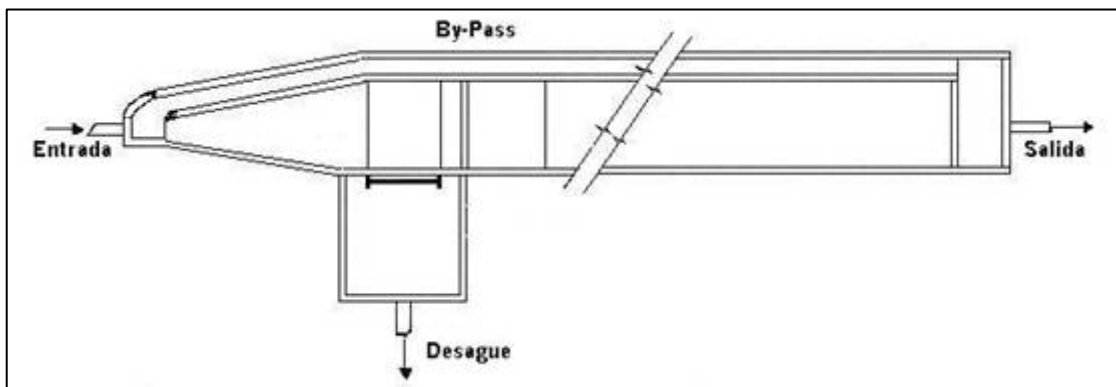
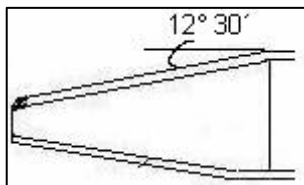


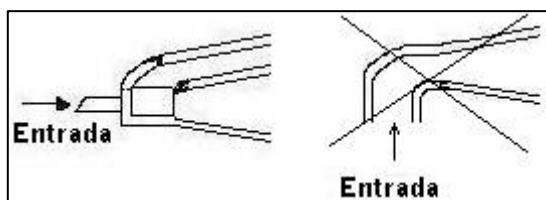
Figura 5. Desarenador de 1 unidad con by pass (planta).

- El periodo de operación es de 24 horas por día.
- Debe existir una transición en la unión del canal o tubería de llegada al desarenador para asegurar la uniformidad de la velocidad en la zona de entrada.

- La transición debe tener un ángulo de divergencia suave no mayor de $12^{\circ} 30'$.



- La velocidad de paso por el vertedero de salida debe ser pequeña para causar menor turbulencia y arrastre de material (Krochin, $V=1\text{m/s}$).
- La llegada del flujo de agua a la zona de transición no debe proyectarse en curva pues produce velocidades altas en los lados de la cámara.



- La relación largo/ancho debe ser entre 10 y 20.
- La sedimentación de arena fina ($d < 0.01\text{ cm}$) se efectúa en forma más eficiente en régimen laminar con valores de número de Reynolds menores de uno ($Re < 1.0$).
- La sedimentación de arena gruesa se efectúa en régimen de transición con valores de Reynolds entre 1.0 y 1 000.
- La sedimentación de grava se efectúa en régimen turbulento con valores de número de Reynolds mayores de 1 000.

Cuadro 2. Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación.

Material	φ Limite de las partículas (cm)	# de Reynolds	Vs	Régimen	Ley Aplicable
Grava	>1.0	>10 000	100	Turbulento	$V_s = 1.82 \sqrt{dg \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} \right)}$ Newton
Arena Gruesa	0.100 0.080 0.050 0.050 0.040 0.030 0.020 0.015	1 000 600 180 27 17 10 4 2	10.0 8.3 6.4 5.3 4.2 3.2 2.1 1.5	Transición	$V_s = 0.22 \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} g \right)^{2/3} \left[\frac{d}{(\mu/\rho)^{1/3}} \right]$ Allen
Arena Fina	0.010 0.008 0.006 0.005 0.004 0.003 0.002 0.001	0.8 0.5 0.24 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0	0.8 0.6 0.4 0.3 0.2 0.13 0.06 0.015	Laminar	$V_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_a - \rho}{\mu} \right) d^2$ Stokes

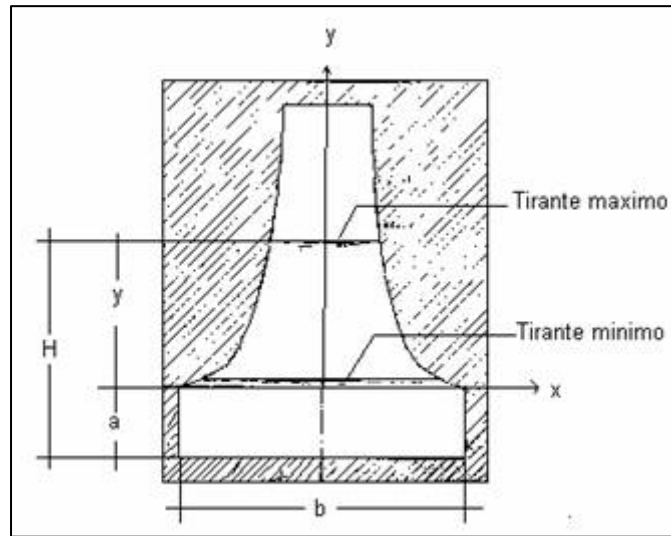
- La descarga del flujo puede ser controlada a través de dispositivos como vertederos (sutro) o canales Parshall (garganta).

a) Si el flujo es controlado por un vertedero sutro tenemos la relación:

$$Q = 2.74 \sqrt{ab} \left(H - \frac{a}{3} \right)$$

Siendo:

- a: altura mínima (m)
- b: ancho de la base (m)
- H: altura del agua (m)



La forma de las paredes del vertedero es dada por:

$$\frac{x}{b} = 1 - \frac{2}{\pi} \arctg \sqrt{\frac{y}{a}}$$

Una alternativa de cálculo para este tipo de vertedero es partiendo de la ecuación:

$$Q = 1.84 l h^{3/2}$$

en donde:

Q: Gasto sobre el vertedero (m³/seg.)

l : Ancho del vertedero (m)

h : Carga sobre el vertedero (m)

Agrupando la ecuación: $Q = 1.84 (l h^{1/2}) h$, tenemos que Q varia con la altura. Entonces es necesario que el valor dentro del paréntesis sea una constante K.

Luego para un Qmax (m³/seg), Atmax (m²) y Wmax (m) obtenemos el hmax (m) y lmax (m).

$$As = \frac{Q}{Vs} \quad At = \frac{Q}{Vh}$$

$$h' = \frac{At}{w} \quad l' = \frac{As}{w}$$

Determinamos la constante $k = l * h^{1/2}$, y hallamos los valores de lmedio, lmin, hmedio y hmin a partir de las relaciones indicadas anteriormente y de los Qmedio y Qmin.

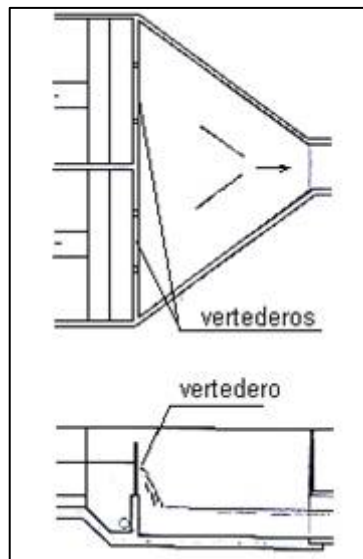
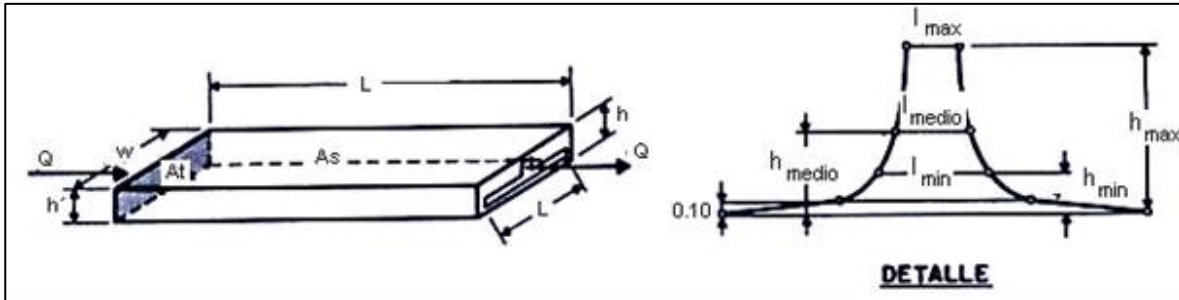


Figura 6. Planta y Corte de vertedero

b) Si el flujo es controlado por un Parshall (garganta), tenemos la ecuación:

$$Q = kbh^{3/2}$$

$$w = \frac{3}{2} \left(\frac{kbh^{1/2}}{V_h} \right) = \frac{3}{2} \left(\frac{Q}{hV_h} \right)$$

Siendo: k constante 1,85 (sistema métrico)
 Q caudal (m³/seg)
 V_h velocidad horizontal (m/seg)

Determinamos la altura máxima h_{max} (m), altura mínima h_{min} (m), ancho máximo w_{max} (m) y ancho mínimo w_{min} (m) para los caudales máximo y mínimo respectivamente para un ancho de garganta b.

El corte transversal del canal debe ser parabólico o aproximarse bastante a la parábola.

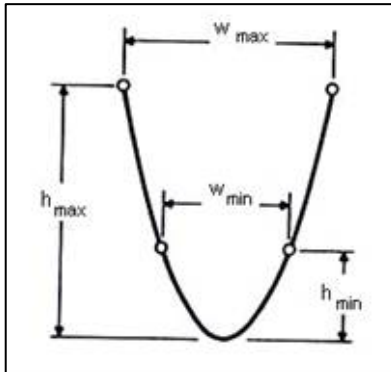


Figura 7. Sección parabólica del Parshall

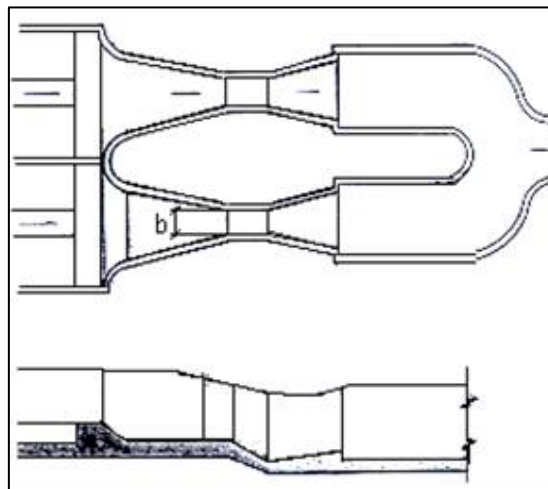


Figura 8. Parshall - Planta y Corte

5.3. Dimensionamiento

- Se determina la velocidad de sedimentación de acuerdo a los criterios indicados anteriormente en relación a los diámetros de las partículas. Como primera aproximación utilizamos la ley de Stokes.

$$V_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_s - 1}{\eta} \right) d^2$$

Siendo: V_s : Velocidad de sedimentación (cm/seg)
 D : Diámetro de la partícula (cm)
 η : Viscosidad cinemática del agua (cm²/seg)
 ρ_s : Δενσιδαδ δε λα αρενα

- Al disminuir la temperatura aumenta la viscosidad afectando la velocidad de sedimentación de las partículas. (aguas frías retienen sedimentos por periodos más largos que cursos de agua más calientes) (véase anexo 2 - Tabla de densidad y viscosidad del agua).
- Se comprueba el número de Reynolds :

$$Re = \frac{V_s * d}{\eta}$$

- En caso que el número de Reynolds no cumpla para la aplicación de la ley de Stokes ($Re < 0.5$), se realizará un reajuste al valor de V_s considerando la sedimentación de la partícula en régimen de transición, mediante el término del diámetro y el término de velocidad de sedimentación del gráfico 1.
- Se determina el coeficiente de arrastre (C_D), con el valor del número de Reynolds a partir del nuevo valor de V_s hallado.

$$C_D = \frac{24}{R} + \frac{3}{\sqrt{R}} + 0.34$$

- Se determina la velocidad de sedimentación de la partícula en la zona de transición mediante la ecuación.

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} (\rho_s - 1) * d}$$

- Otra alternativa para la determinación de la velocidad de sedimentación es utilizando la gráfica 2.
- Se realiza un ajuste tomando en cuenta el tiempo de retención teórico del agua respecto al práctico (coeficiente de seguridad), mediante el gráfico 3.

Así tenemos que:

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

Entonces:

$$V_s' = \left(\frac{Q * \text{coefic. segur}}{A_s} \right)$$

- Determinamos la velocidad limite que resuspende el material o velocidad de desplazamiento:

$$V_d = \sqrt{\frac{8k}{f} g (\rho_s - 1) d}$$

Siendo: K : Factor de forma
(0.04, arenas unigranulares no adheribles)
V_d : Velocidad de desplazamiento (cm/seg)
F : Factor de rugosidad de la cámara

Estimamos el valor de f mediante el gráfico 4.

$$R = \frac{4R_m * V_h}{\eta}$$
$$\frac{4R_m}{K}$$

Siendo: K : 1*10⁻¹ cm
V_h : Velocidad horizontal (cm/seg)
R_m : Radio medio hidráulico(cm)

- Determinamos la velocidad horizontal (V_h), mediante la ecuación.

$$V_h = \frac{Q}{A_t}$$

- Luego se debe cumplir la relación V_d > V_h, lo que asegura que no se producirá la resuspensión.
- Las dimensiones de ancho, largo y profundidad serán de tal forma que se cumpla las relaciones determinadas en los criterios de diseño mencionadas anteriormente.
- La longitud de la transición de ingreso la determinamos mediante la ecuación:

$$L_1 = \frac{B - b}{2 * \text{tg } \theta}$$

Siendo: θ : Ángulo de divergencia (12° 30′)
B : Ancho del sedimentador (m)
b : Ancho del canal de llegada a la transición (m)

6. Diseño del sedimentador

6.1. Componentes

Esta unidad se puede dividir en cuatro partes o zonas.

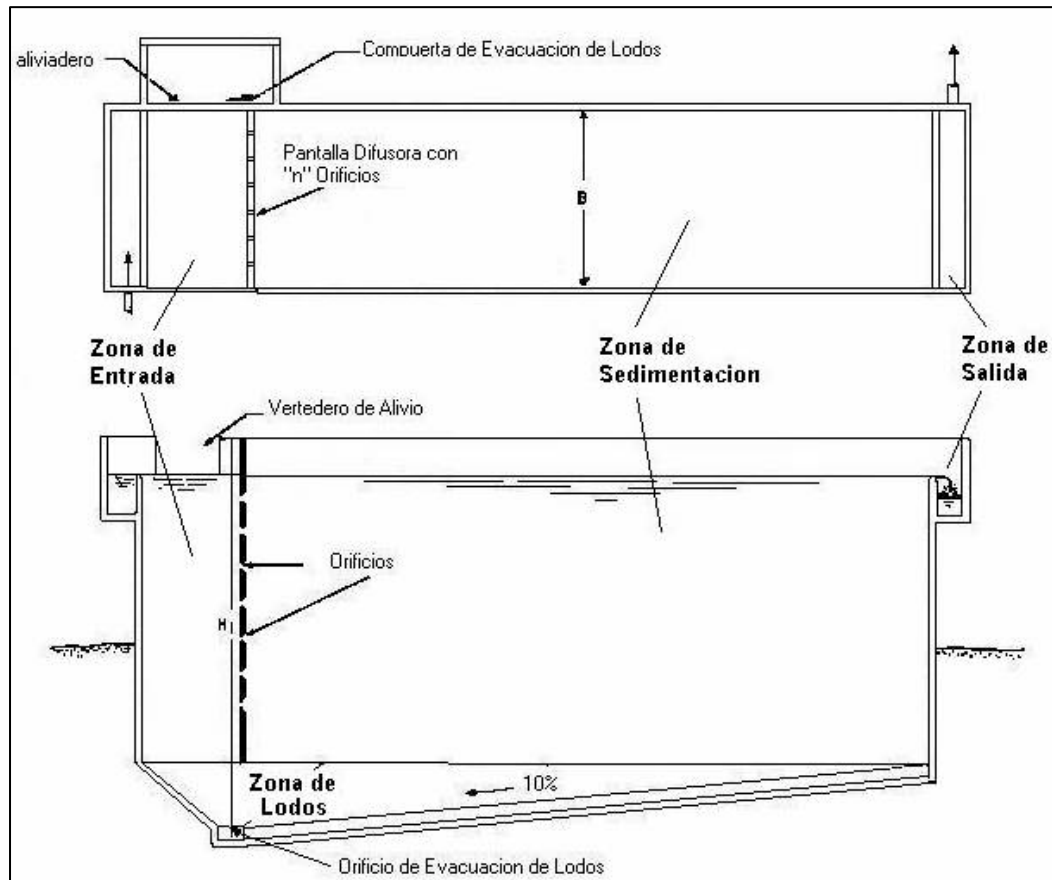


Figura 9. Sedimentador (Planta y Corte Longitudinal).

a) Zona de entrada

Estructura hidráulica de transición, que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.

b) 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, flujo pistón.

c) 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.

d) Zona de recolección de lodos

Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para su evacuación periódica.

6.2. *Criterios de diseño*

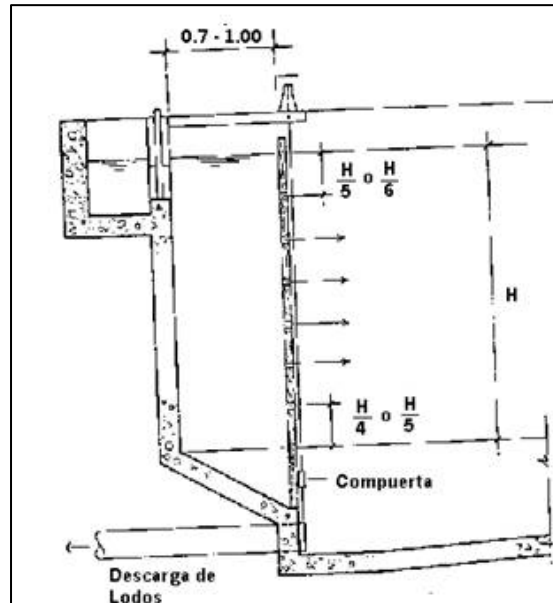
- El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años.
- El número de unidades mínimas en paralelo es de dos (2) para efectos de mantenimiento.
- El periodo de operación es de 24 horas por día.
- El tiempo de retención será entre 2 - 6 horas.
- La carga superficial será entre los valores de 2 - 10 m³/m²/día.
- La profundidad del sedimentador será entre 1,5 – 2,5 m.
- La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre los valores de 3 - 6.
- La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5 - 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.
- Se debe 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.
- El caudal por metro lineal 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.

$$\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_S}$$

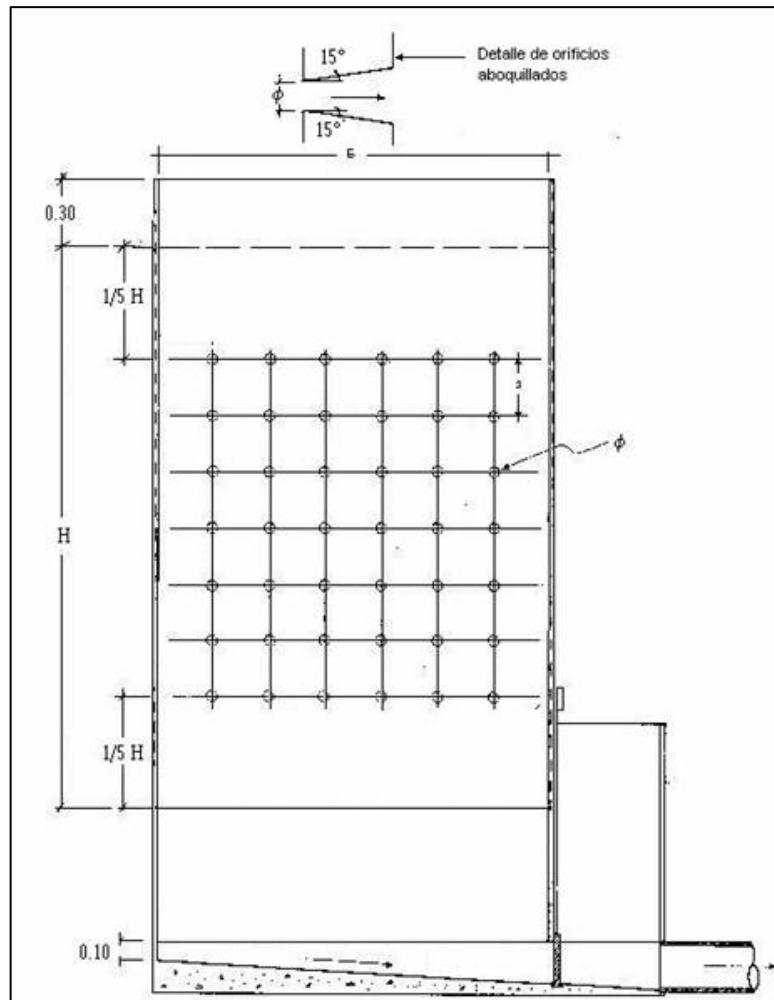
- La sección de la compuerta de la evacuación de lodos (A_2) debe mantener la relación. Donde t es el tiempo de vaciado.

$$A_2 = \frac{A_s * \sqrt{H}}{4850 * t}$$

- La ubicación de la pantalla difusora debe ser entre 0,7 a 1,00 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.



6.3. 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:

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

Siendo: 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 distribución de flujo.

- Determinar la velocidad horizontal V_H (m/seg) de la unidad mediante la ecuación. El cual debe cumplir con las relaciones mencionadas anteriormente.

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

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

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

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

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

Siendo: V_o : Velocidad en los orificios (m/seg)
 Q : Caudal de diseño (m^3 /seg)
 A_o : Área total de orificios (m^2)

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

Siendo: a_o : Área de cada orificio (m^2)
 n : número de orificios

7. Ejemplos aplicativos

7.1 Para el diseño de un desarenador

Se tiene como datos:

Caudal de Diseño:	20 lps
Densidad relativa de la arena:	2,65
Diámetro de la partícula:	0,02 cm
Temperatura del agua:	20 °C

Entonces:

- De la tabla del anexo 2.
 Viscosidad Cinemática (η) = 1.0105×10^{-2} cm^2 /seg.

Luego, de la fórmula:

$$V_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_s - 1}{\eta} \right) d^2$$

Se tiene velocidad de sedimentación (V_s) = 3.55 cm/seg.

- Se comprueba el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V_s * d}{\eta}$$

Re= 7.02 > 0,5; por lo tanto, no se encuentra en la zona de la ley de Stokes.

Se realiza un reajuste mediante el grafico 1.

Término del diámetro:

$$\left[\frac{g(\rho_s - 1)}{\eta^2} \right]^{1/3} d = 5.02$$

Término de la velocidad de sedimentación:

$$\frac{V_s}{[g(\rho_s - 1)\eta]^{1/3}} = 1$$

Luego $V_s = 2.54$ cm/seg.

Comprobamos nuevamente el $Re = 5.02$

Entonces se encuentra en la zona de transición (ley de Allen).

- Se determina el coeficiente de arrastre:

$$C_D = \frac{24}{R} + \frac{3}{\sqrt{R}} + 0.34$$

$$C_D = 6.46$$

Entonces la Velocidad de Sedimentación será:

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} (\rho_s - 1) * d}$$

$$V_s = 2.58 \text{ cm/seg.}$$

Si se asume una eficiencia del 75%, de acuerdo con la grafica 3 se adopta un coeficiente de seguridad igual a 1,75.

$$V_s' = \left(\frac{Q * \text{coefic. segur}}{A_s} \right)$$

De tal manera que se obtiene el área superficial (A_s) = 1.37 m²

- Se determina las dimensiones de largo, ancho y profundidad respetando los criterios de diseño.

Largo : $l = 5$ m
Ancho : $B = 0,5$ m
Profundidad : $h = 0,4$ m

Luego la velocidad horizontal:

$$V_h = \frac{Q}{A_t}$$

$$V_h = 10 \text{ cm/seg}$$

Se determina el valor de rugosidad de la cámara mediante:

$$R = \frac{4R_m * V_h}{\eta}$$

$$\frac{4R_m}{K}$$

Luego se ingresa a la grafica 4, de donde se tiene $f = 0,027$.

- Se determina la velocidad de desplazamiento o resuspensión:

$$V_d = \sqrt{\frac{8k}{f} g(\rho_s - 1)d}$$

$$V_d = 19.56 \text{ cm/seg}$$

Lo que indica que no habrá resuspensión pues $V_d > V_h$.

- Se determina el periodo de retención:

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

$$PR = 50 \text{ seg}$$

Se determina la longitud del tramo de transición.

$$L_1 = \frac{B - b}{2 * \text{tg } \theta}$$

$$L = 0.25 \text{ m}$$

a) Si se tiene un control por vertedero proporcional (sutro)

Caudal máximo : 20 lps
Caudal medio : 10 lps
Caudal mínimo : 5 lps

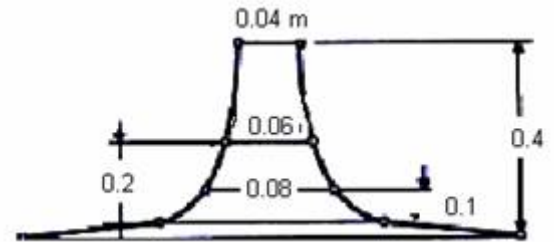
Ancho máximo, $l_{\max} = 0.04 \text{ m}$

Área transversal media, $A_{t\text{media}} = 0.1 \text{ m}^2$
Área transversal mínima, $A_{t\text{min}} = 0.05 \text{ m}^2$

Altura media, $h_{\text{media}} = 0,2 \text{ m}$
Altura mínima, $h_{\text{min}} = 0,1 \text{ m}$

Valor de $K = 0,027$

Entonces : $l_{\text{media}} = 0,061 \text{ m}$
 $l_{\text{min}} = 0,086 \text{ m}$



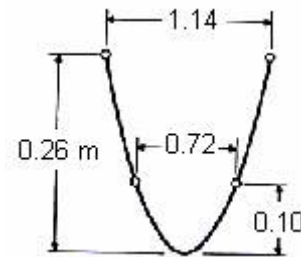
b) Si se tiene un control por garganta o Parshall

Se asume el ancho de la garganta, $b = 0,08 \text{ m}$

Entonces se tiene:

Altura máxima, $h_{\max} = 0,26 \text{ m}$
Altura mínima, $h_{\min} = 0,10 \text{ m}$

Ancho máximo, $w_{\max} = 1,14 \text{ m}$
Ancho mínimo, $w_{\min} = 0,72 \text{ m}$.



7.2 Para el diseño de un sedimentador

Se tiene como datos:

Caudal de diseño: $Q = 0.02 \text{ m}^3/\text{seg}$
Velocidad de sedimentación: $V_s = 0.0011 \text{ m}/\text{seg}$

- Se determina el área superficial de la unidad (A_s).

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

$$A_s = 18,18 \text{ m}^2$$

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

$$B = 2,4 \text{ m}$$

$$L_2 = \frac{A_s}{B} = 7,58 \text{ m}$$

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

$$L_1 = 0,7 \text{ m}$$

Entonces se tiene como longitud de la unidad: $L = L_1 + L_2 = 8,28 \text{ m}$

Se verifica si cumple la relación de L/B de los criterios de diseño: $L/B = 3,45$

- Se asume la profundidad

$$H = 1,5 \text{ m}$$

Se verifica si cumple la relación L/H de los criterios de diseño: $L/H = 5,05$

Se determina la velocidad horizontal V_H .

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

$$V_H = 0,55 \text{ cm/seg}$$

- Se determina el periodo de retención:

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

$$T_o = 0,38 \text{ horas} = 22,73 \text{ min}$$

- Con una pendiente de 10% en el fondo de la unidad se tiene como altura máxima:

$$H' = H + 0,1H = 2,26 \text{ m}$$

- Con un vertedero de salida de longitud de cresta igual al ancho de la unidad se tiene como altura de agua sobre el vertedero.

$$H2 = \left[\frac{Q}{1.84B} \right]^{2/3}$$

$$H2 = 0,03 \text{ m}$$

- Para el diseño de la pantalla difusora se tiene:

Se asume una velocidad de paso entre los orificios:

$$V_o = 0,1 \text{ m/seg}$$

Se determina el área total de los orificios

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

$$A_o = 0,2 \text{ m}^2$$

Se adopta un diámetro de orificio:

$$d_o = 0,75 \text{ m}$$

Entonces se determina el área de cada orificio:

$$a_o = 0,0044 \text{ m}^2$$

Se determina el número de orificios:

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

$$n = 45$$

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

$$h = H - 2/5 H$$

$$h = 0,9 \text{ m}$$

Se asume un número de filas de orificios $n_f = 5$

Entonces se tiene el número de columnas $n_c = 9$

Se determina el espaciamiento entre filas:

$$a_1 = \frac{h}{n_f}$$

$$a_1 = 0,18 \text{ m}$$

Se determina el espaciamiento entre columnas:

$$a_2 = \frac{B - a_1(nc - 1)}{2}$$

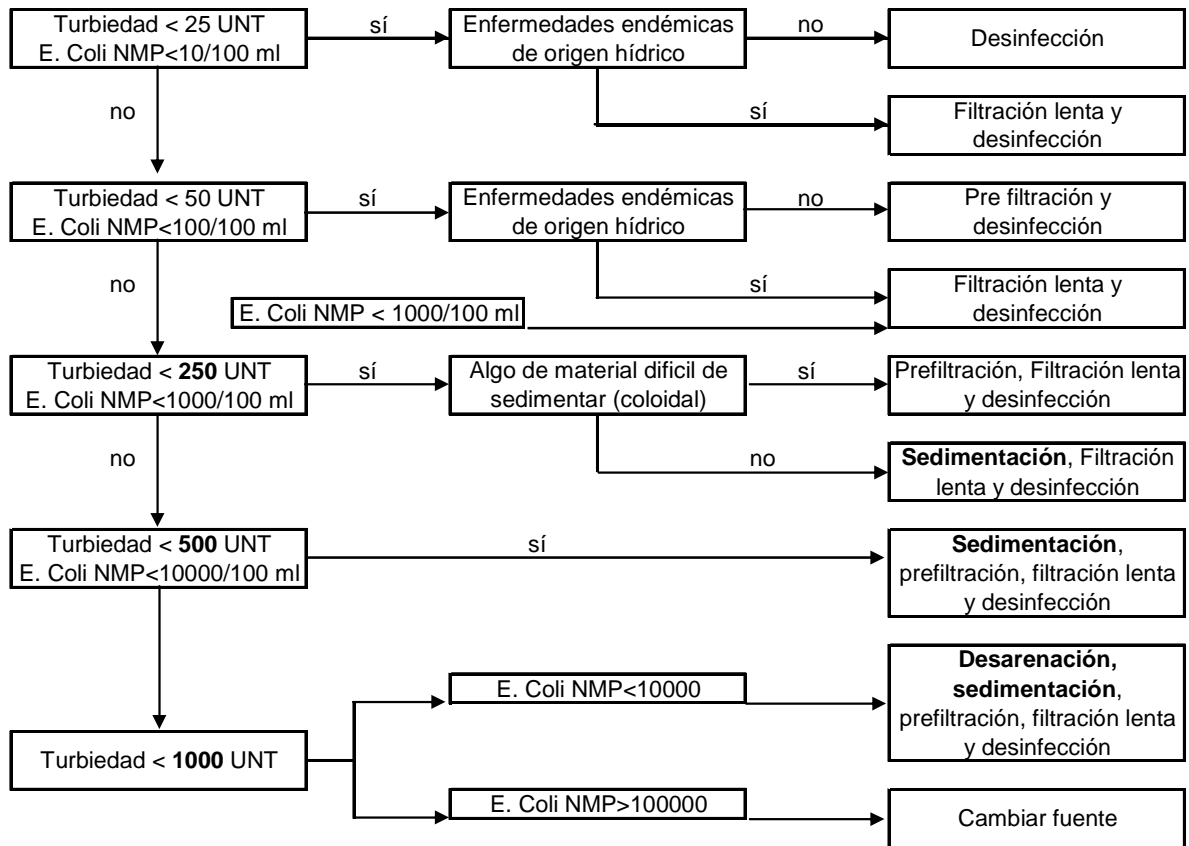
$$a_2 = 0,48 \text{ m}$$

8. Bibliografía

- CEPIS; Ing. Cánepa de Vargas Lidia; “Programa regional para la promoción del uso de tecnologías apropiadas en saneamiento básico”; CEPIS; Lima; 2000.
- CEPIS, Ing. Lidia Cánepa de Vargas; “Programa Regional HPE/OPS/CEPIS de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano”, Tratamiento - Filtración Lenta, Manual: I, II, III; CEPIS; Lima; 1992.
- CEPIS; Ing. Lidia Cánepa de Vargas, Ing. José M. Pérez; "Guía para diseño de plantas de filtración lenta para el medio rural"; Manual DTIAPAN C-3; Lima; 1983
- CEPIS; Ing. Lidia Cánepa de Vargas; "tratamiento de agua para consumo humano", plantas de filtración rápida, Manual I; CEPIS; Lima; 2004
- CEPIS; “Programa Regional HPE/OPS/CEPIS de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano”- Plantas modulares para tratamiento de agua; segunda edición; Lima; 1990.
- Christopher R. Schulz, Daniel A. Okun; "Tratamiento de agua superficiales para países en desarrollo"; Editorial Limusa S.A.; México; 1998.
- Jorge Arboleda Valencia; "Teoría y práctica de la purificación del agua"; Tomo 1; Colombia; 2000.
- G. Fair, J. Geyer, D. Okun; "Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal"; Volumen 2; USA, 1968.
- G. Rivas Mijares; "Tratamiento de aguas residuales"; Segunda Edición; España; 1978.

ANEXO N° 1

Guía de Selección de Procesos para una Planta de Filtración Lenta



Fuente: "Guía para Diseño de Plantas de Filtración Lenta para el Medio Rural"

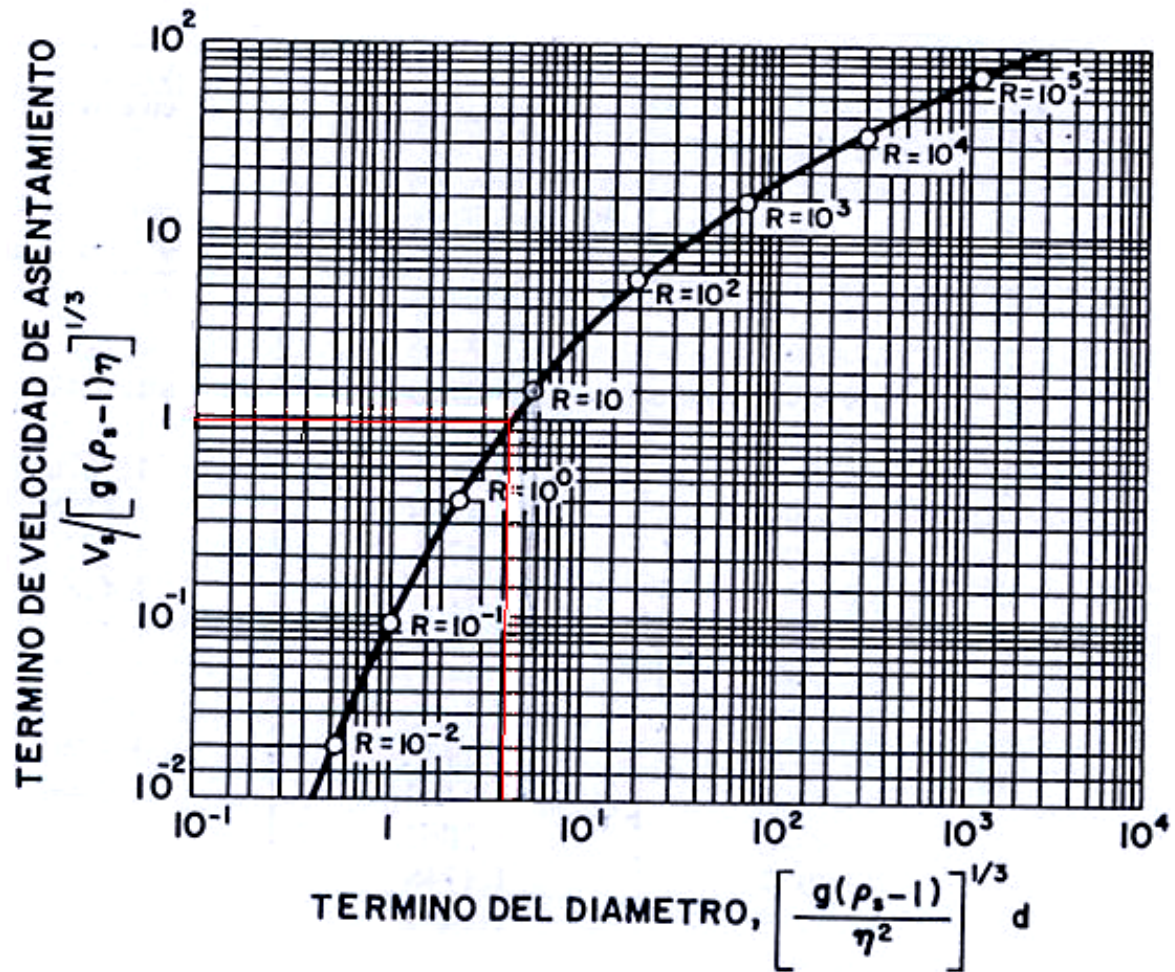
ANEXO N°2

DENSIDAD Y VISCOSIDAD DEL AGUA Calculadas de las tablas "International Critical"

Temperatura °C	Densidad (gr/cm ³)	Viscosidad Cinematica
0	0.99987	1.7923
1	0.99993	1.7321
2	0.99997	1.6741
3	0.99999	1.6193
4	1.00000	1.5676
5	0.99999	1.5188
6	0.99997	1.4726
7	0.99993	1.4288
8	0.99988	1.3874
9	0.99981	1.3479
10	0.99973	1.3101
11	0.99963	1.2740
12	0.99952	1.2396
13	0.99940	1.2068
14	0.99927	1.1756
15	0.99913	1.1457
16	0.99897	1.1168
17	0.99880	1.0888
18	0.99862	1.0618
19	0.99843	1.0356
20	0.99823	1.0105
21	0.99802	0.9863
22	0.99780	0.9629
23	0.99757	0.9403
24	0.99733	0.9186
25	0.99707	0.8975
26	0.99681	0.8774
27	0.99654	0.8581
28	0.99626	0.8394
29	0.99597	0.8214
30	0.99568	0.8039
31	0.99537	0.7870
32	0.99505	0.7708
33	0.99473	0.7551
34	0.99440	0.7398
35	0.99406	0.7251
36	0.99371	0.7109
37	0.99336	0.6971
38	0.99299	0.6839
39	0.99262	0.6711

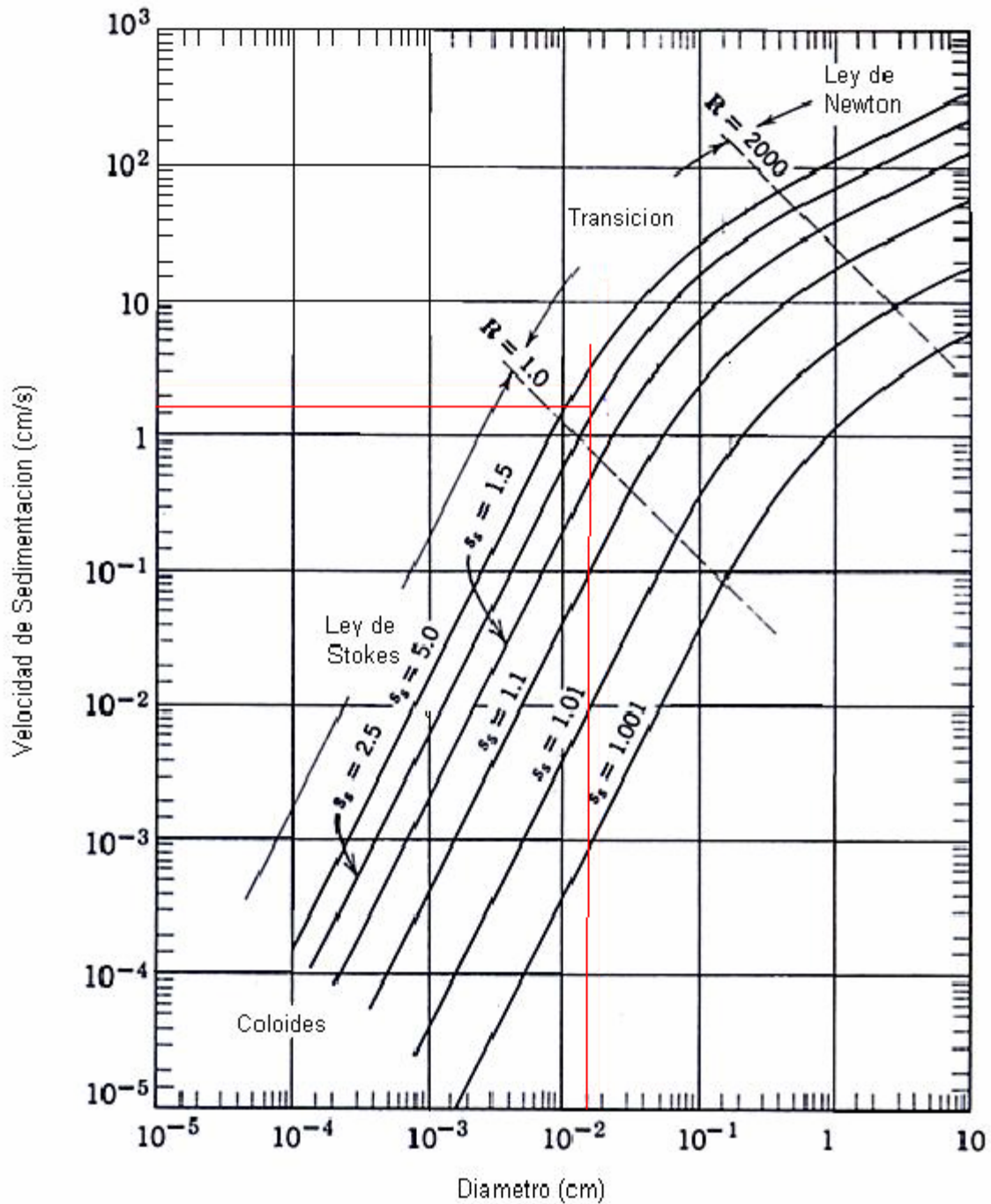
Fuente: Tratamiento de Aguas Residuales, G. Rivas Mijares, 1978

GRAFICO N° 1
Valores de Sedimentacion



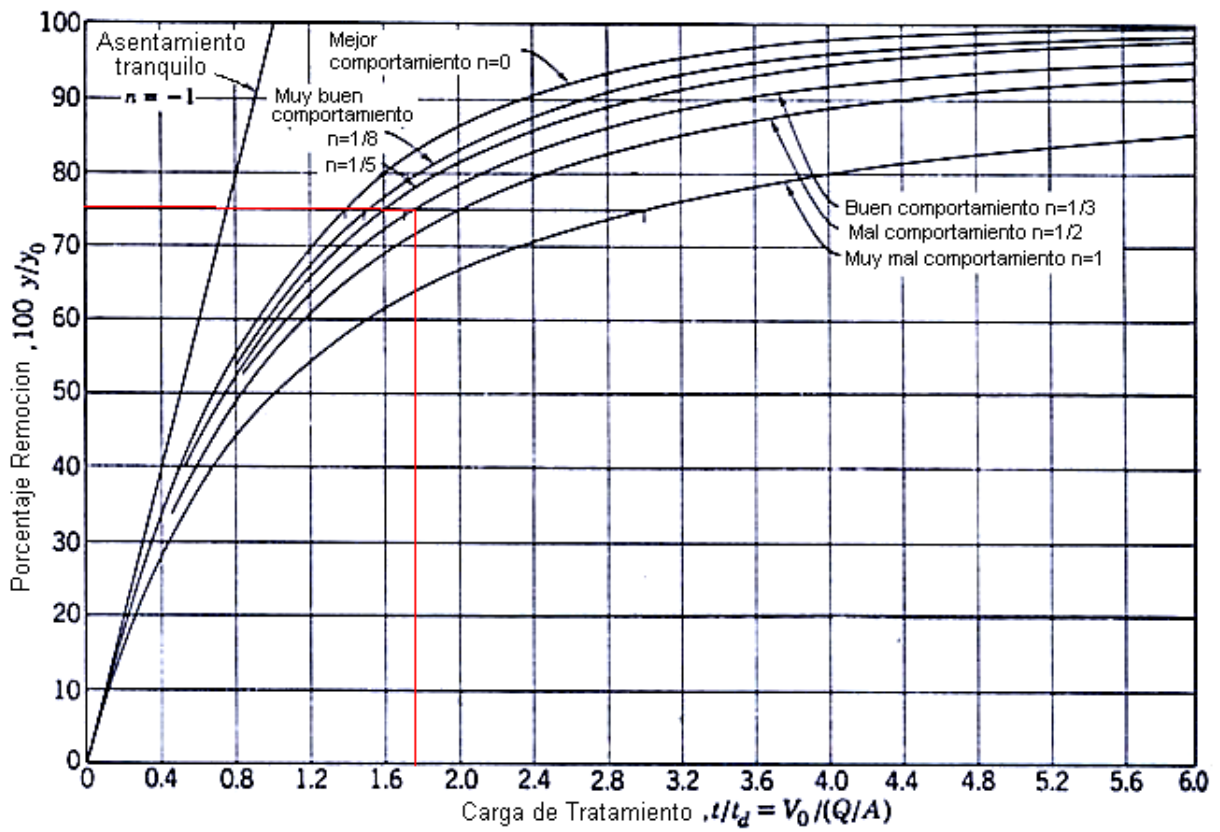
Fuente: Tratamiento de Aguas Residuales, G. Rivas Mijares, 1978

GRAFICO N°2
Velocidad de Sedimentación



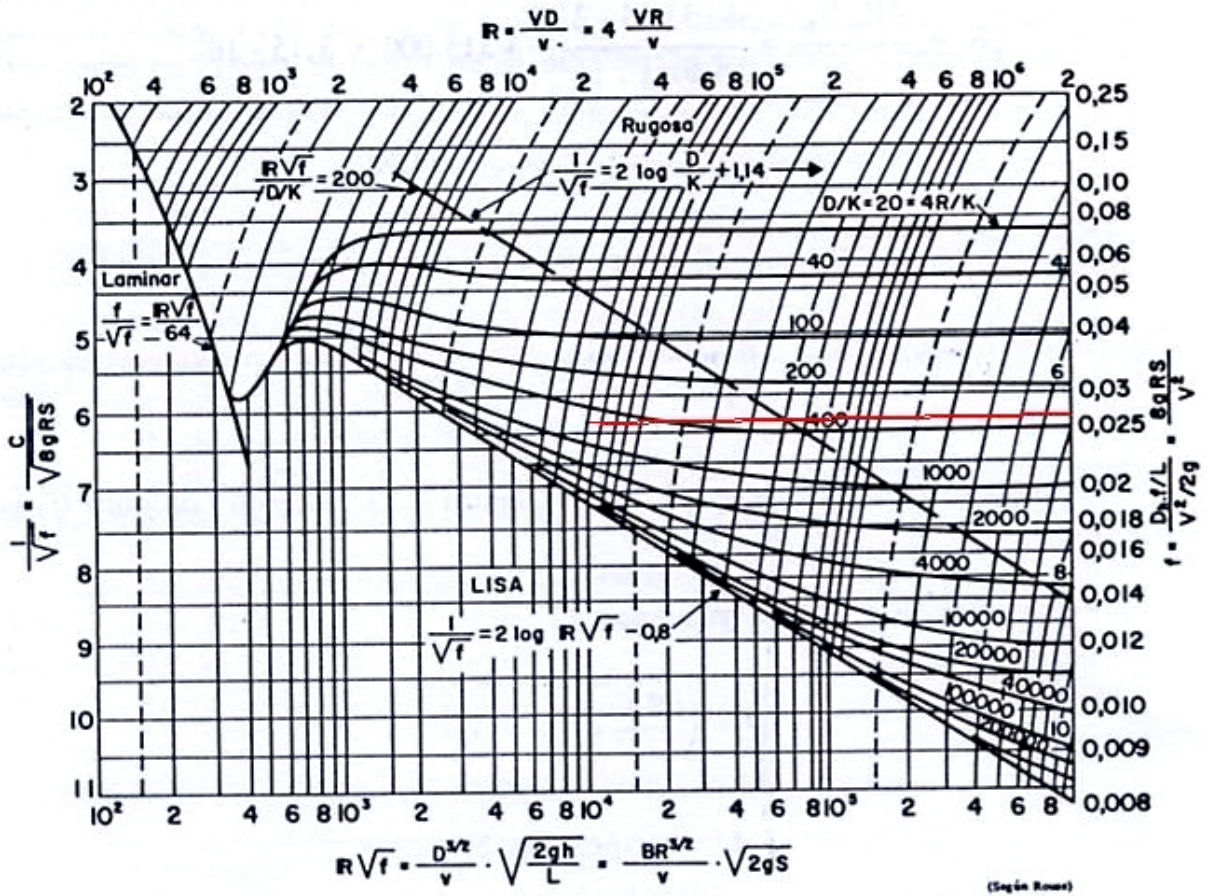
Fuente: Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal
G. Fair, J. Geyer, D. Okun, 1968

GRAFICO N°3
Curvas de Comportamiento



Fuente: Tratamiento de Aguas Residuales, G. Rivas Mijares, 1978

GRAFICO N°4
Resistencia para Corrientes



Fuente: Tratamiento de Aguas Residuales, G. Rivas Mijares, 1978

ABREVIATURAS DE TERMINOS

H, h	Altura
B, w	Ancho
A_t	Area o Sección Transversal
A_s	Area Superficial
Q	Caudal o Gasto de Diseño
C_D	Coefficiente de Arrastre
ρ_s	Densidad de la Arena
ρ	Densidad del agua
d	Diámetro de la partícula
f	Factor de Rugosidad de la Cámara
K	Factor de forma
g	Gravedad
L, l	Longitud
Re	Número de Reynolds
V_s	Velocidad de Sedimentación
η	Viscosidad Cinemática del agua
V_d	Velocidad de desplazamiento o resuspensión
V_h	Velocidad Horizontal del Flujo