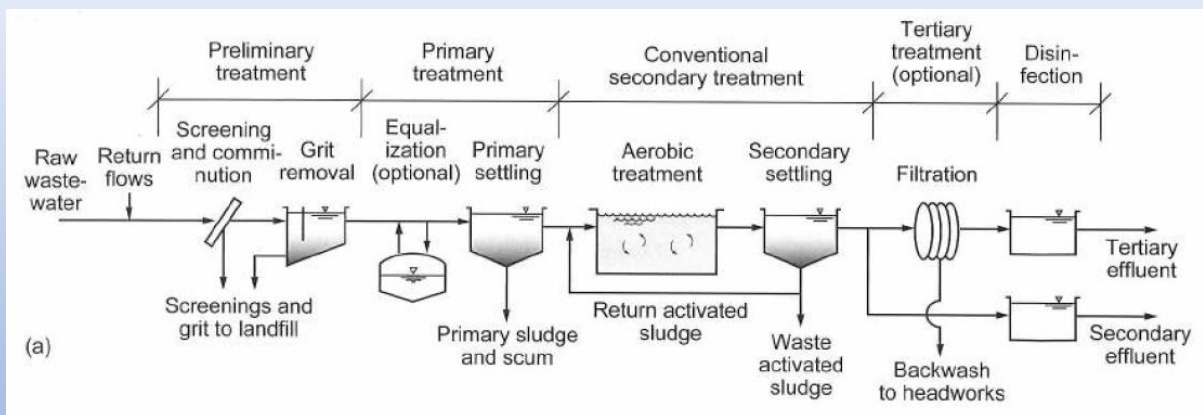


INGENIERÍA AMBIENTAL PARA LA INDUSTRIA DE PROCESOS

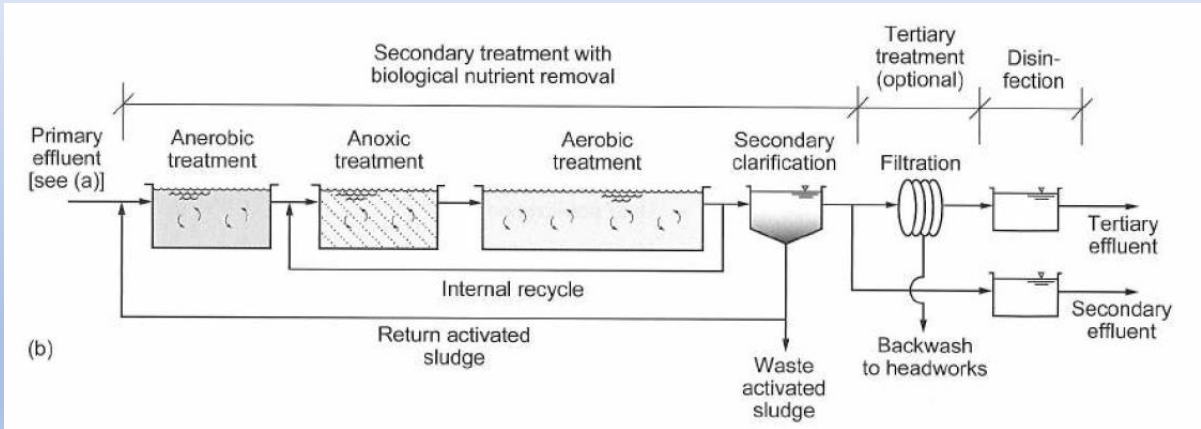
1

Ejemplo de tratamiento convencional



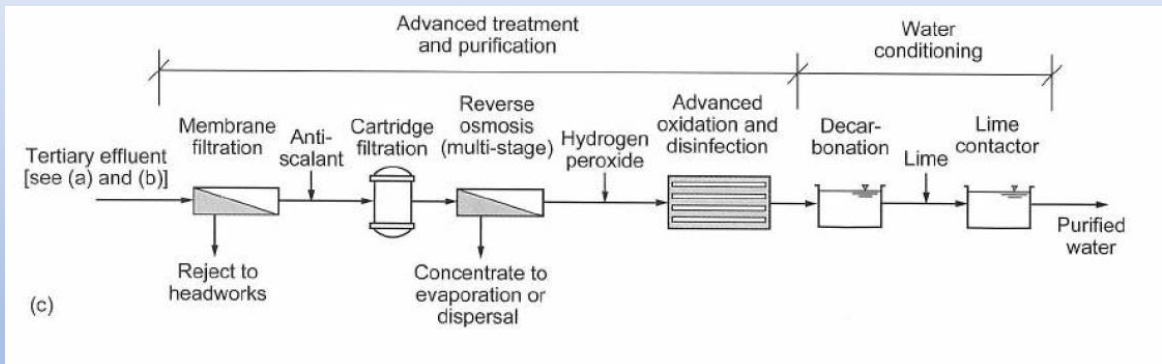
2

Ejemplo de tratamiento con remoción de nutrientes



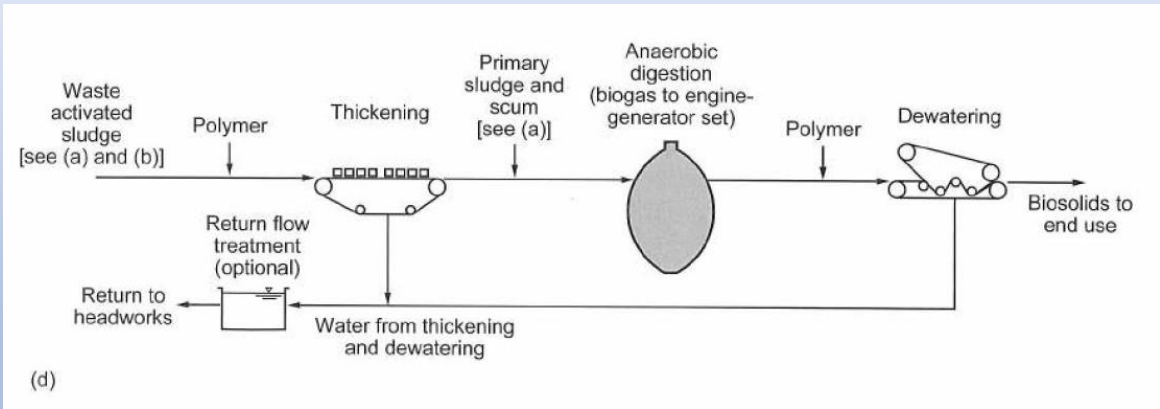
3

Ejemplo de tratamiento con sistemas avanzados

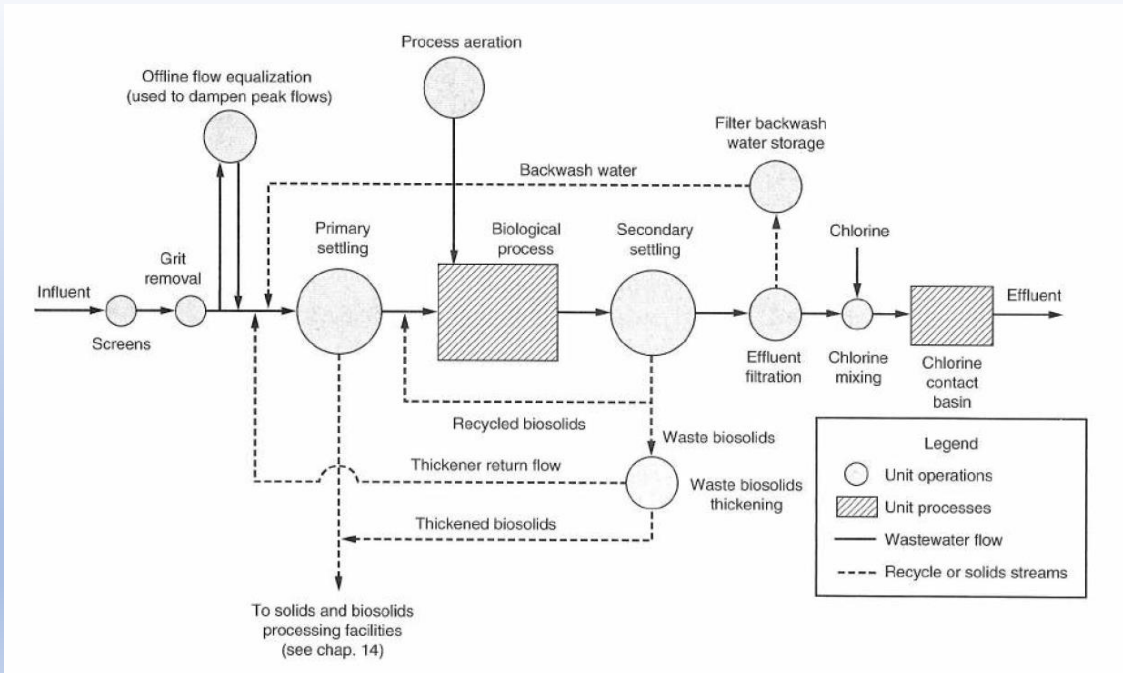


4

Ejemplo de sistema de tratamiento de lodos



5



6

PRETRATAMIENTOS

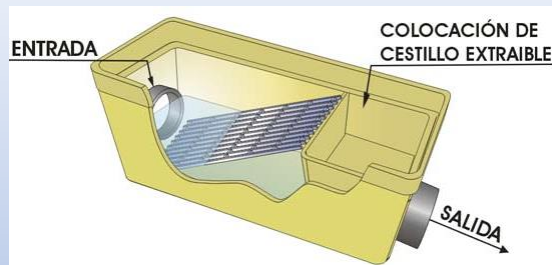
- Cribado
- Tamizado
- Desarenado
- Desgrasado

7

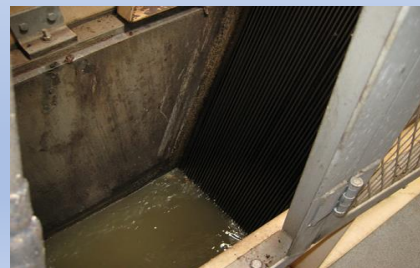
CRIBADO

Objetivo:

Retención de sólidos gruesos para prevenir obstrucción de tuberías y bloqueo de bombas y agitadores.



Reja Gruesa



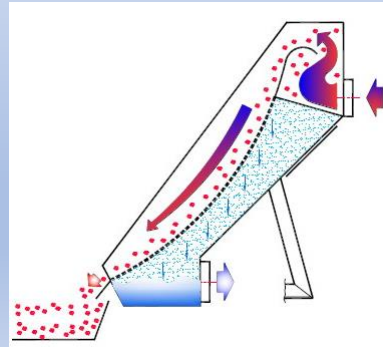
Reja Fina

8

TAMIZADO

Objetivo: Remoción de sólidos suspendidos medios y gruesos.

Tamices estáticos parabólicos:



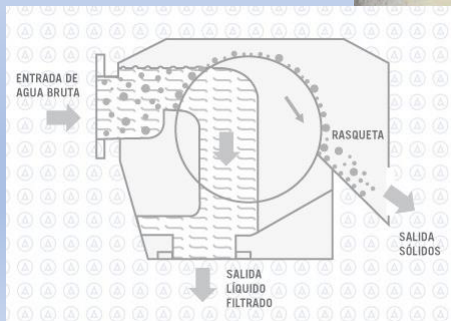
9

TAMIZADO

Tamiz con raspador móvil:



Tamiz rotatorio

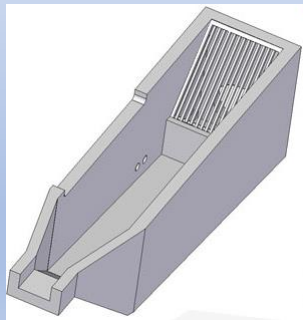


10

DESARENADO

Objetivo: Remoción de arena y otras partículas de alta densidad, para evitar su acumulación en etapas posteriores.

Consiste en un canal o cámara de fácil acceso donde la velocidad de flujo se reduce a aprox. 0.3m/s, permitiendo la sedimentación de partículas pesadas.



Integrado al canal de la reja



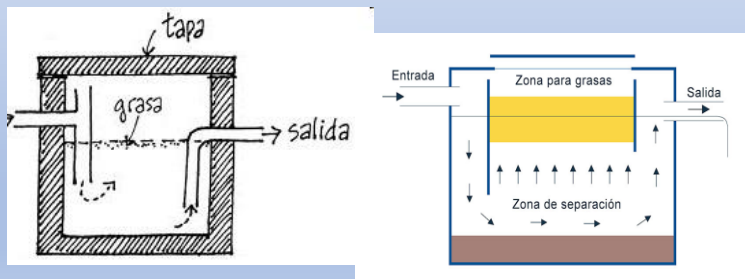
Canales paralelos para facilitar limpieza

11

DESGRASADO

Objetivo: Remoción de grasas y otros sólidos de baja densidad con la finalidad de evitar su acumulación en etapas posteriores.

Consiste en un canal o cámara de fácil acceso donde la velocidad de flujo se reduce y se obliga al flujo a descender, permitiendo la separación de grasas en la superficie por flotación.



12

TRATAMIENTOS PRIMARIOS

- Homogenización
- Neutralización
- Coagulación y Floculación
- Sedimentación
- Flotación

13

HOMOGENIZACIÓN

Objetivo:

Reducir las variaciones de caudal y/o composición con la finalidad de hacer más eficientes las unidades de tratamiento posteriores.

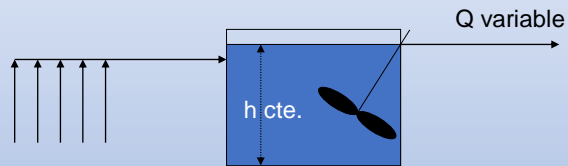
Se consigue mediante tanques o piletas, agitados o no, de nivel constante o variable.

Si el efluente de entrada tiene concentraciones altas de sólidos en suspensión es necesario prever agitación o limpieza periódica.

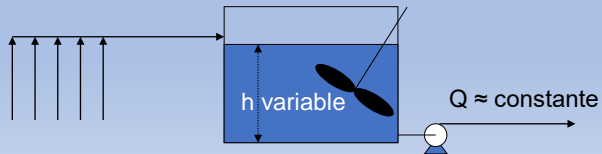
14

HOMOGENEIZACIÓN

Si solo se necesita amortiguar variaciones de composición puede diseñarse con nivel constante (salida por desborde).



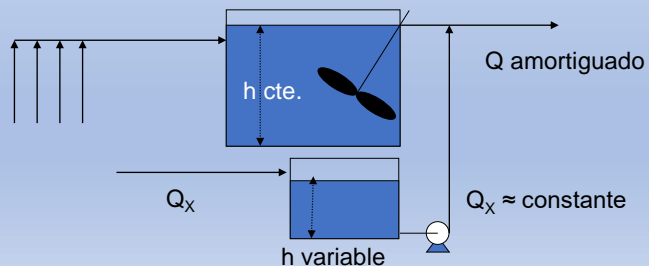
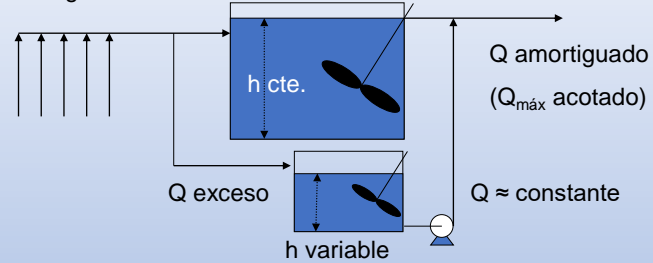
Si se necesita amortiguar las variaciones de caudal es necesario descargar por bombeo y operar con nivel variable.



15

HOMOGENEIZACIÓN

Otras configuraciones :



16

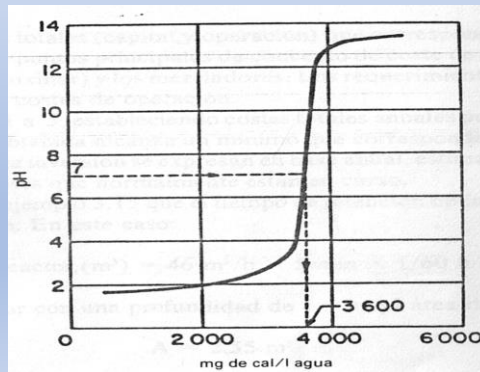
NEUTRALIZACIÓN (O AJUSTE DE pH)

Objetivo:

Ajustar el pH al intervalo requerido para las etapas posteriores de tratamiento o para la descarga.

Para estimar el consumo de reactivos debe conocerse la acidez o alcalinidad del efluente hasta el pH objetivo (equivalentes de ácido o base a neutralizar).

Curva típica de neutralización de un efluente industrial



17

NEUTRALIZACIÓN (O AJUSTE DE pH)

Neutralización simultánea a la homogenización:

Aplicable cuando hay un buen balance y alternancia entre corrientes ácidas y alcalinas.

Neutralización en lotes:

Es sencilla pero requiere "grandes" tanques de acumulación agitados o controlar muchos lotes. Opción interesante si se separan corrientes extremas.

Neutralización en continuo:

En línea: se requiere contar con sensores de respuesta rápida enlazados con bombas dosificadoras de velocidad variable. Difícil lograr un ajuste exacto.

En tanque continuo agitado: Tiene mayor inercia por lo que es más robusto.

En etapas: ya sea en línea o en tanques. Es posible por ejemplo acercarse al pH objetivo con solución concentrada en una primera etapa y luego ajustar con solución diluida.

18

NEUTRALIZACIÓN (O AJUSTE DE pH)

Reactivos más empleados:

Bases:

Cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$): Económico, pero difícil manejo y deja residuos insolubles

Soda cáustica (NaOH): No tan económica, pero fácil de dosificar.

Cenizas de Soda (Na_2CO_3): Más segura, aporta buffer ($\text{pK}_1=6.35$), pero más cara.

Caliza (CaCO_3): Se percola el efluente por un lecho de piedra caliza.

Ácidos:

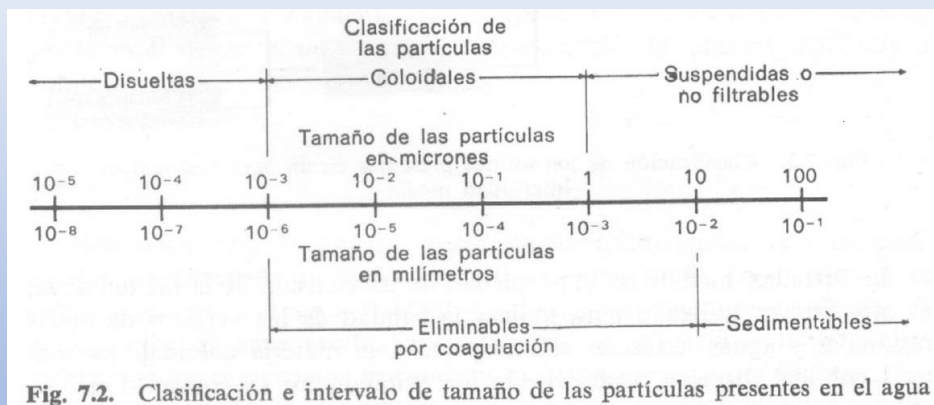
Ácido sulfúrico: aporta sulfatos que pueden dar problemas en el sistema biológico.

Ácido clorhídrico: es más caro pero no tiene el problema anterior.

Anhídrido carbónico: puede utilizarse gas de combustión o biogás.

19

ELIMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO



20

COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

Objetivo:

Agrupar partículas coloidales y pequeñas partículas en suspensión para facilitar su separación mediante operaciones físicas como filtración sedimentación o flotación.

Coagulación:

Consiste en la neutralización de las cargas eléctricas de las partículas, en general mediante cationes polivalentes (Al^{+3} o Fe^{+3}) o polielectrolitos catiónicos. Se realiza mediante la dosificación y mezcla rápida del coagulante, (tiempo de residencia de unos pocos segundos y alta intensidad de mezcla).

Floculación:

Consiste en la formación de flóculos (agrupación de partículas) asistida generalmente por polímeros orgánicos (aniónicos o no iónicos). Se realiza mediante la dosificación y mezcla lenta (tiempo de residencia de 10 a 30 minutos y baja intensidad de mezcla), para dar tiempo a la formación y crecimiento de los flóculos. Si la coagulación se realiza con polielectrolito catiónico, éste actúa también como floculante.

21

COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN



Test de Jarras para optimizar la dosificación y las condiciones de mezcla

22

SEDIMENTACIÓN

Objetivo:

Remover sólidos en suspensión de mayor densidad que el efluente.

Tipos de sedimentación:

- 1) Sedimentación Discreta: ocurre cuando las partículas mantienen su individualidad durante el proceso. (ej. Arena, lodo granular)
- 2) Sedimentación con floculación: es la que se produce cuando las partículas se agrupan durante el proceso, dando lugar a la variación de su velocidad de sedimentación. (Decantadores primarios, especialmente con tratamiento químico)
- 3) Sedimentación por zonas: las partículas forman un manto que sedimenta manteniendo las partículas sus posiciones relativas. (decantadores secundarios)
- 4) Sedimentación por compresión: ocurre cuando el manto que forman las partículas se compacta, reduciéndose los espacios entre partículas. (espesadores de lodos)

23

SEDIMENTACIÓN DISCRETA

Sedimentación de partículas discretas:

El peso efectivo es $W = (\rho_s - \rho) g \cdot V$

siendo V el volumen de la partícula, ρ_s su densidad y ρ la densidad del líquido.

La fuerza de arrastre es:

$F = C_D \cdot A \cdot (\rho \cdot V_P^2) / 2$ siendo C_D el coeficiente de arrastre, A el área de la sección perpendicular al flujo y V_P la velocidad de la partícula.

Al alcanzar la velocidad máxima el peso efectivo se iguala con la fuerza de arrastre de modo que la velocidad máxima resulta:

$$V_P = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho) \cdot d}{3 \cdot C_D \cdot \rho}}$$

siendo d el diámetro de la partícula.

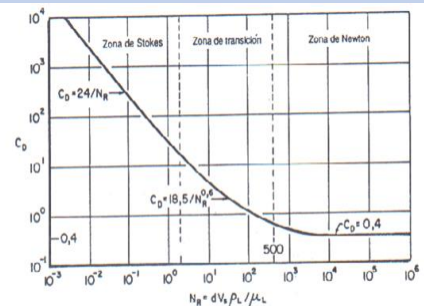
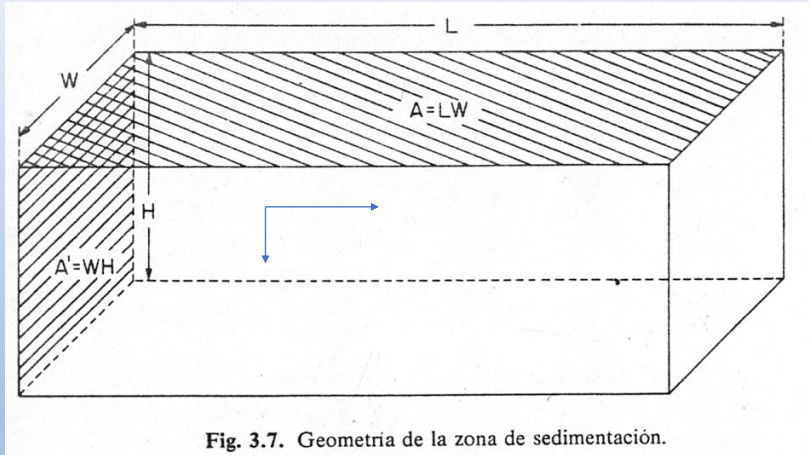


Fig. 3.2. Correlación entre el coeficiente de fricción para partículas esféricas y el número de Reynolds.

24

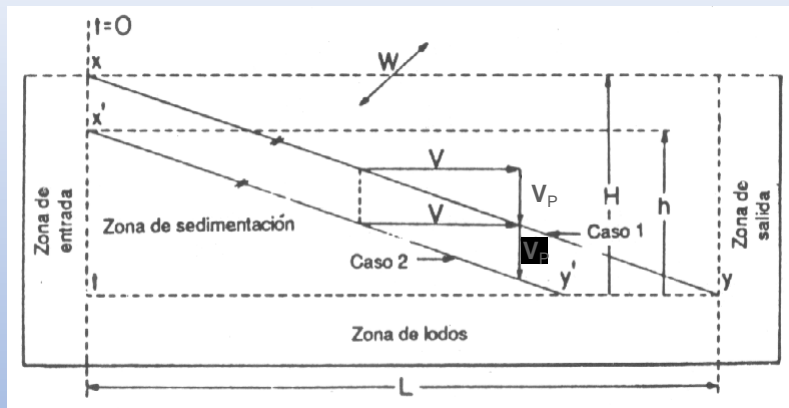
SEDIMENTADOR IDEAL RECTANGULAR



V es la velocidad del líquido y V_p es la velocidad de sedimentación de la partícula

25

SEDIMENTADOR IDEAL RECTANGULAR

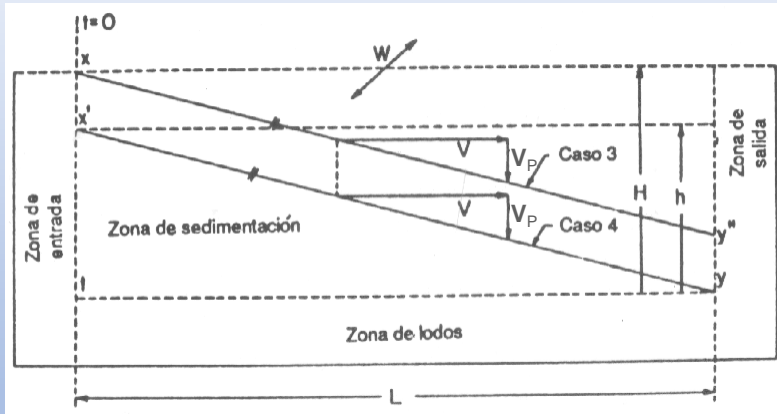


Todas las partículas que cumplen $V_p / V > H / L$ sedimentan.

Velocidad crítica V_c , es el valor mínimo de V_p para el cual la sedimentación es segura

26

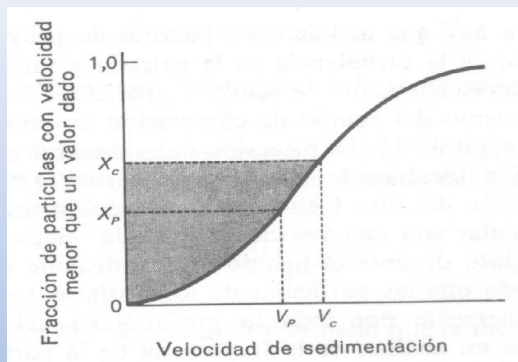
SEDIMENTADOR IDEAL RECTANGULAR



Para las que tienen velocidad menor, la proporción que sedimenta es V_p/V_c
Siendo V_c la velocidad mínima para la cual sedimentan el 100% ($V_c/V = H/L$)

27

SEDIMENTADOR IDEAL



$$\text{Fracción eliminada} = (1 - X_c) + \int_0^{X_c} \frac{V_p}{V_c} dx \quad [8.20]$$

donde $1 - X_c$ = fracción de partículas con velocidad V_p mayor que V_c .

$$\int_0^{X_c} \frac{V_p}{V_c} dx = \text{fracción de partículas eliminadas con } V_p \text{ menor que } V_c$$

28

SEDIMENTADOR IDEAL

Veremos que V_c en función de superficie del sedimentador (A) :

$$\begin{aligned}
 V &= Q / (W.H) \text{ siendo } W \text{ el ancho del sedimentador.} \\
 V_c / V &= H / L \Rightarrow V = V_c \cdot L / H
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} V &= Q / (W.H) \\ V_c / V &= H / L \end{aligned}} \right\} \Rightarrow V_c = Q / (W.L)$$

$$\Downarrow$$

$$V_c = Q / A$$

Esto explica que el caudal por unidad de superficie (llamado flujo específico o factor de carga) sea un parámetro clave en el diseño de sedimentadores.

Por otra parte la V horizontal está limitada por la velocidad de arrastre, es decir aquella capaz de resuspender las partículas sedimentadas en el fondo. Esto implica que el sedimentador deba tener una sección de flujo suficiente.

En la práctica esto implica profundidad suficiente.

29

SEDIMENTADOR IDEAL CIRCULAR

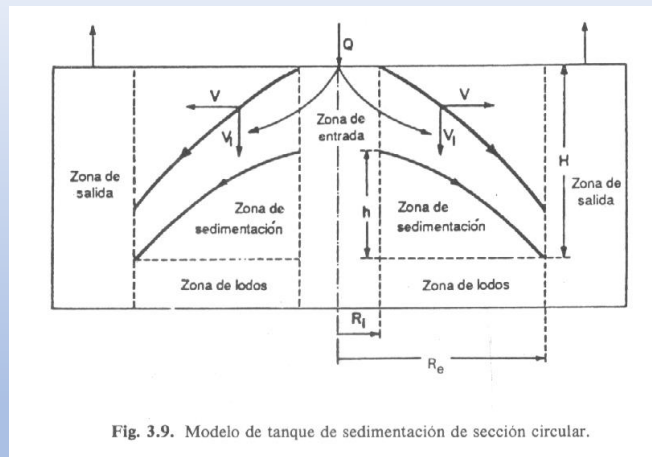
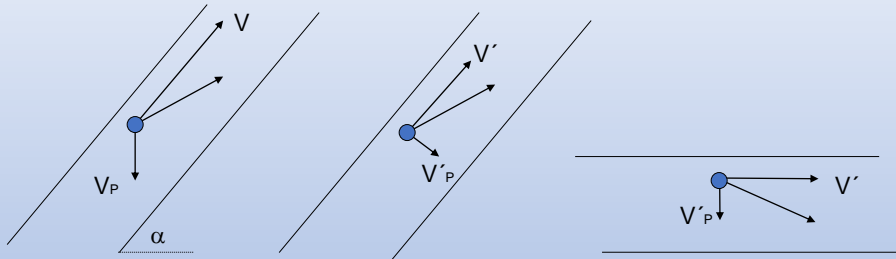


Fig. 3.9. Modelo de tanque de sedimentación de sección circular.

Aquí también se puede demostrar que $V_c = Q / A$

30

SEDIMENTACIÓN IDEAL ENTRE PLACAS INCLINADAS



¿Qué relación existe entre V_c y Q/A ? (A = área de cada placa)

$$V_p' = V_p \cdot \cos\alpha \Rightarrow V_c = (Q/A) / (\cos\alpha + H/L \cdot \sin\alpha)$$

$$\text{Si } H \ll L \text{ (situación normal)} \Rightarrow V_c = (Q/A) / \cos\alpha$$

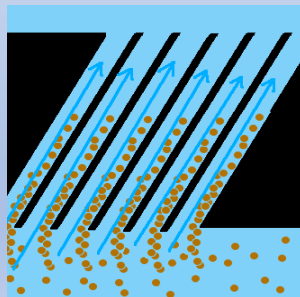
31

SEDIMENTACIÓN IDEAL ENTRE PLACAS INCLINADAS

$$V_c = (Q/A) / \cos\alpha$$

Ventaja: se pueden colocar muchas placas en una estructura compacta

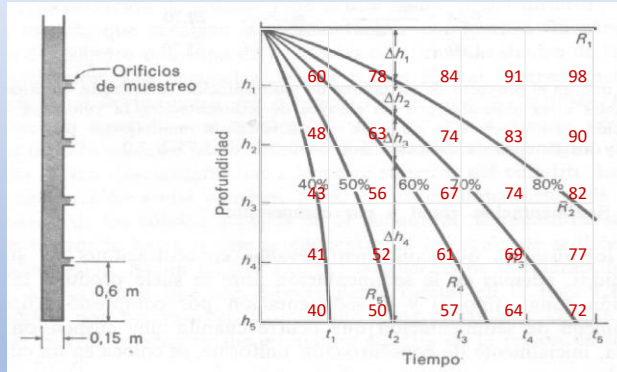
α debe ser suficiente para drenar los lodos (mayor a 45°)



32

SEDIMENTACIÓN CON FLOCULACIÓN

Para determinar el comportamiento de las partículas es necesario hacer ensayos en columna de sedimentación de laboratorio.



R es la remoción porcentual

$$\text{Eliminación porcentual} = \frac{\Delta h_1}{h_5} \times \frac{R_1 + R_2}{2} + \frac{\Delta h_2}{h_5} \times \frac{R_2 + R_3}{2} + \frac{\Delta h_3}{h_5} \times \frac{R_3 + R_4}{2} + \frac{\Delta h_4}{h_5} \times \frac{R_4 + R_5}{2}$$

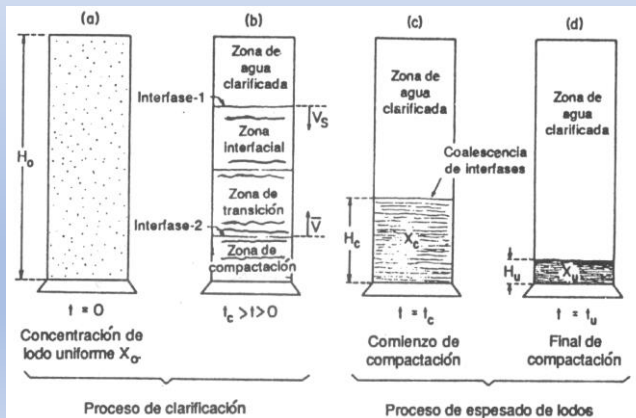
Eliminación porcentual a un tiempo t

33

SEDIMENTACIÓN POR ZONAS Y POR COMPRESIÓN

Para determinar el comportamiento de las partículas es necesario medir la velocidad de sedimentación, por ej. en una probeta de litro.

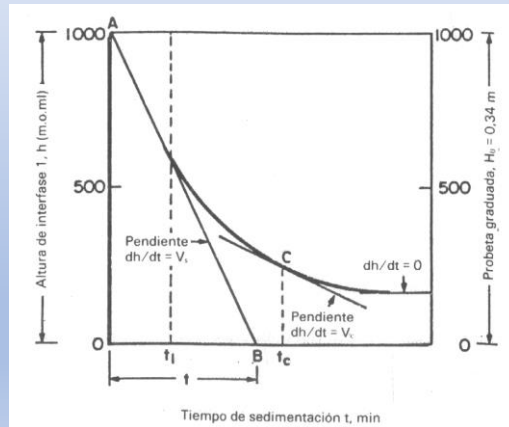
Se registra la posición de la interfase 1 a lo largo del tiempo.



34

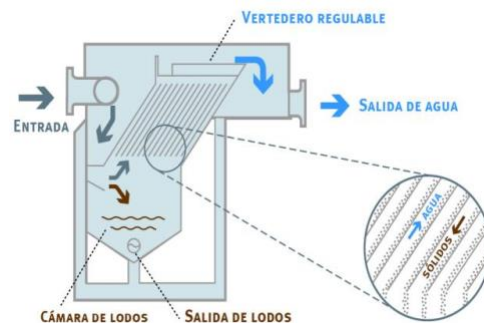
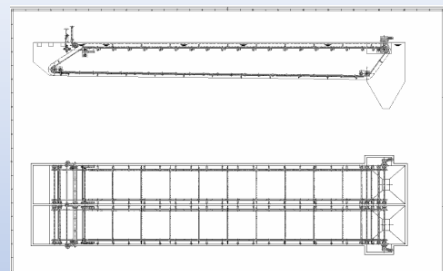
SEDIMENTACIÓN POR ZONAS Y POR COMPRESIÓN

La pendiente de la recta en el tramo inicial indica la velocidad de sedimentación del manto. La evolución de la pendiente posterior muestra el comportamiento durante la compresión del manto.



35

SEDIMENTADORES



36

FLOTACIÓN

Objetivo:

Remover sólidos en suspensión de densidad próxima al efluente.

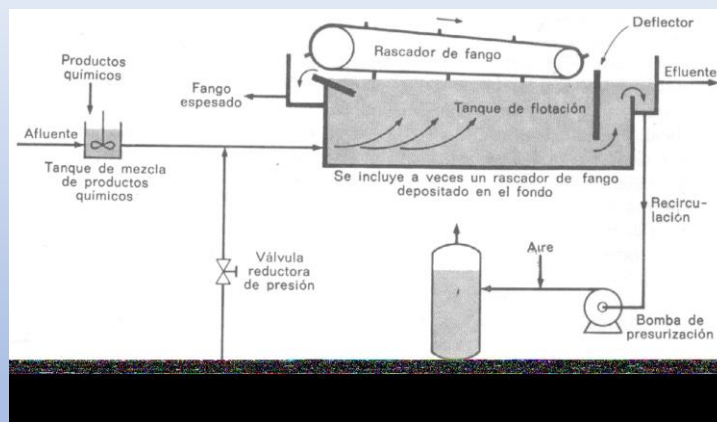
Las partículas ascienden a la superficie debido a la adsorción de microburbujas de aire, que les confieren una densidad aparente menor a la del efluente.

La tecnología más comúnmente utilizada es la flotación por aire disuelto (DAF por sus siglas en inglés)

Permite el mismo resultado que la sedimentación convencionales, con tiempos de residencia del orden de la quinta parte. (20 minutos contra 2hs por ej.)

37

FLOTACIÓN



38

FLOTACIÓN

Parámetros claves:

Relación A/S = kg de aire liberados / kg se sólidos en la
entrada

Carga superficial = $m^3/(m^2 \cdot d)$

Presión de saturación

Eficiencia de saturación