

## C A P I T U L O VI

### SEDIMENTADORES DE ALTA TASA

El término sedimentadores de alta tasa usado aquí se refiere a los aparatos de sedimentación gravitacional que tienen períodos de retención de no más de 15 minutos y eficiencia comparable a los tanques de sedimentación rectangulares convencionales, con períodos de retención de por lo general más de dos horas. La idea de emplear sedimentación acelerada fue sugerida primeramente por Hazen en 1904 y explorada por Camp en 1946. Su aplicación práctica fue demostrada por Hazen (4) y Culp (4) en los años sesenta.

En base a los resultados de amplias investigaciones -- experimentales una firma de los Estados Unidos (4), desarrolló, para uso comercial, dos tipos de sedimentadores tubulares de flujo ascendente para el tratamiento de aguas potables y residuales como se indica en la figura 6.1. El primer tipo de módulo consiste en 450 tubos hexagonales, cada uno de 30 pulgadas (76 cm) de largo y 2 pulgadas (5.08 cm) de lámina a lámina. El módulo se usa con filtros de medios múltiples y los tubos tienen un ángulo de inclinación de 5° para facilitar el desagüe de lodo durante el lavado. El segundo tipo consiste en tubos cuadrados de 2 pulgadas (5.08 cm) y 24 pulgadas (61 cm) de longitud. Los tubos están inclinados a un ángulo de 60°. Los resultados experimentales indican que a este ángulo el lodo sedimentado se deslizará por la cara del tubo por su propio peso, lo que produciría un sistema de autolimpieza. Se emplean materiales plásticos para la construcción de estos módulos.

El llamado separador de lámina inclinada es una forma de sedimentador de alta tasa que consiste en placas paralelas inclinadas espaciadas estrechamente. La figura 6.2 muestra los separadores de flujo ascendente y descendente. Se sostiene que el separador de lámina inclinada, necesita menos de un sexto del área cubierta por los separadores sin láminas y que remueve completamente las partículas mayores de 10 micrones.

Otro aparato de sedimentación superficial para separación de sólidos-líquidos fue desarrollado en Suecia (4) introducido formalmente alrededor de 1970 con el nombre registrado de SEPARADOR LAMINAR. El separador consiste en láminas paralelas inclinadas con espacios intermedios de 1 a 2 pulgadas (2.54 a 5.08 cm). Como se indica en la figura 6.3, el flujo principal tiene dirección descendente. La ventaja principal de este tipo de sedimentador, reside en el hecho de que sirve para impulsar el lodo sedimentado en la misma dirección que el flujo principal. Esto significa que para deslizarse el lodo no tiene que vencer la fuerza de arrastre del flujo principal como en el caso de flujo ascendente, sino que es ayudado por éste en su movimiento descendente y, la acción de autolimpieza puede obtenerse con un ángulo de inclinación de 30°.

Actualmente los sedimentadores de alta tasa son los más usados tanto en el caso de tratamiento de agua potable y residual como en otras aplicaciones industriales. Los sedimentadores de flujo ascendente con sistema de autolimpieza, inclinados 60° trabajan satisfactoriamente en tratamiento de agua. Sin embargo, se necesitan generalmente cuidados especiales para mantener el sedimentador limpio cuando se trata de lodos biológicos.

Yao (4) realizó un estudio teórico de sedimentadores de alta tasa de diversas formas y propuso una ecuación basada en el parámetro "Tasa de desbordamiento o Carga superficial" que es ampliamente usada en el diseño de procesos de tratamiento de aguas potables y residuales. La ecuación es apropiada para su aplicación en forma general.

La ecuación sugerida por Yao hace posible el uso del parámetro convencional "Tasa de desbordamiento o Carga superficial" como base para diseñar sedimentadores de alta tasa. Sin embargo, el problema es cuál carga superficial se deberá usar en el diseño. En tanques de sedimentación convencionales se usa normalmente un factor de seguridad para lograr un funcionamiento razonable. Por ejemplo, la velocidad de asentamiento de las partículas de flóculos de sulfato de aluminio y hierro es aproximadamente 5 cm/min a 10°C. El equivalente de carga superficial es 1,760 gpd/pie<sup>2</sup> (72 mcd/m<sup>2</sup>). Teóricamente un tanque de sedimentación diseñado con esta carga superficial debería ser capaz de remover todas las partículas de flóculos. En la práctica, sin embargo, la carga superficial oscila generalmente entre 600 y 1200 gpd/pie<sup>2</sup> (24.4 y 48.8 mcd/m<sup>2</sup>). Una de las principales razones es que la condición de tanque ideal es casi imposible de alcanzar. Además, existe siempre la posibilidad de un inadecuado diseño hidráulico del tanque. Por otra parte, no es enteramente inconcebible que debido a su construcción relativamente simple, un sedimentador de alta tasa tenga menos probabilidades de ser mal diseñado, tener cortos circuitos u otros defectos similares, pues su criterio de diseño es bastante diferente al usado en los tanques decantadores convencionales.

Se reconoce generalmente que en el diseño de tanques de

sedimentación son también importantes otras variables además de la carga superficial; por ejemplo, la velocidad de flujo. Una velocidad alta puede obstaculizar la sedimentación o causar la resuspensión de partículas sedimentadas. Sin duda estas variables pueden también afectar el funcionamiento de los sedimentadores de alta tasa.

#### 6.1 ESTUDIO TEORICO

La figura 6.4 muestra el sistema de coordenadas usadas en el estudio teórico. El eje de las (x); es paralelo al eje del sedimentador de alta tasa así como a la dirección del flujo principal, ( $\theta$ ) es el ángulo de inclinación del sedimentador, (p) representa una partícula que está sujeta a la fuerza de arrastre del flujo con una velocidad local del flujo con una velocidad local (u), en la dirección (-x), y una velocidad de sedimentación  $v_s$  en la dirección vertical. Los componentes de velocidad de la partícula en las direcciones (x) e (y) son, respectivamente,

$$v_{px} = u - v_s \sin\theta \quad (6.1)$$

$$v_{py} = -v_s \cos\theta \quad (6.2)$$

Nótese que la ecuación (6.1) implica que no hay deslizamiento entre el fluido y la partícula.

La ecuación diferencial para la trayectoria de la partícula se obtiene cambiando las ecuaciones (6.1) y (6.2)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-v_s \cos\theta}{u - v_s \sin\theta} \quad (6.3)$$

Integrando la ecuación (6.3)

$$u dy - v_s y \operatorname{sen} \theta + v_s x \operatorname{cos} \theta = C_0 \quad (6.4)$$

donde  $C_0$  = constante de integración.

La ecuación (6.4) es la ecuación para la trayectoria de la partícula. Su primer término puede ser evaluado fácilmente si  $(u)$  puede expresarse como una función de  $(y)$ .

Cada partícula sigue su propia trayectoria dentro del sedimentador. La figura 6.5 muestra las trayectorias de las partículas removidas por el sedimentador porque las tres trayectorias terminan en la placa inferior del mismo. La geometría de estas trayectorias indica que la partícula que sigue la trayectoria  $F_3$  tiene una  $v_s$  más pequeña que la que sigue la trayectoria  $F_2$  porque la primera recorre una distancia más corta a través del largo del sedimentador. La trayectoria  $F_1$  representa un caso límite. Todas las partículas con la misma  $v_s$  de la partícula que sigue esta trayectoria serán completamente removidas por el sedimentador. Esta partícula  $v_s$  se define como la velocidad crítica del sedimentador,  $v_{sc}$ .

Sustituyendo la función distribuidora de velocidad para varias formas de sedimentadores y las condiciones divisorias de la trayectoria límite, se obtiene la siguiente ecuación general:

$$\frac{v_{sc}}{v_o} (\operatorname{sen} \theta + L \operatorname{cos} \theta) = S_c \quad (6.5)$$

donde  $v_o$  = velocidad promedio del flujo

$L$  = longitud relativa igual a la relación entre la longitud y el espaciamiento entre los planos del sedimentador.

$S_c$  = factor cuya magnitud depende de la forma del mismo. Los valores de  $S_c$  para módulos tubulares cilíndricos, placas paralelas y bateas cubiertas superficialmente, son respectivamente  $4/3$ ,  $1$ ,  $11/8$  y  $1$ , ya que si todas las otras variables son constantes, un valor bajo de  $S_c$  da un valor más pequeño de  $v_{sc}$ , lo que indica una remoción completa de las partículas más pequeñas o más livianas. Teóricamente al menos, las placas paralelas y las bateas abiertas son mejores que los módulos circulares o cuadrados. La figura 6.6 muestra las tendencias de las trayectorias límite en sedimentadores de diversas formas.

Un diseño de ecuación general se obtiene volviendo a acomodar la ecuación (6.5) e insertando una constante para fijar las unidades.

$$\text{Carga Superficial} = CS_c \frac{v_o}{\sin\theta + L\cos\theta} \quad (6.6)$$

La magnitud de  $C$  depende de las unidades usadas para los distintos términos empleados en la ecuación (6.6). En unidades británicas con  $v_o$  en pies/min, la carga superficial en  $\text{gpd/pie}^2$ ,  $C = 1.08 \times 10^4$ . En el sistema métrico con  $v_o$  en  $\text{cm/min}$  y la carga superficial en  $\text{mcd/m}^2$ ,  $C = 14.4$ .

Seleccionando la forma, el ángulo de inclinación, y el espaciamiento o tamaño del módulo y la ecuación (6.6) puede establecerse la longitud requerida del sedimentador. Dicha

ecuación pueden también usarse para evaluar sistemas de sedimentación de alta tasa.

## 6.2 SEDIMENTADORES DE FLUJO ASCENDENTE Y DESCENDENTE.

Considérese dos sedimentadores idénticos, inclinados a ángulos  $(-\theta)$  y  $(\theta)$  respectivamente que representan una unidad de flujo descendente y a una de flujo ascendente. Asúma se que  $v_o$  es igual para ambos sedimentadores. Si sustituimos los dos ángulos dentro de la ecuación (6.5), combinamos las dos ecuaciones resultantes y rearreglamos, tenemos:

$$\frac{v_{sc}(-\theta)}{v_{sc}(\theta)} = \frac{L + \tan\theta}{L - \tan\theta} \quad (6.7)$$

Los símbolos entre parenté<sup>s</sup>is indican la respectiva  $v_{sc}$  para los dos sedimentadores. La ecuación (6.7) indica que el funcionamiento relativo de los dos sedimentadores es una función de  $(\theta)$  y de  $L$ . La figura 6.7 es la representación gráfica de la ecuación (6.7), con  $L$  igual a 10, 20, y 40. Parece que la unidad de flujo ascendente siempre da mejor funcionamiento y que la eficiencia relativa de la unidad de flujo descendente disminuye apreciablemente cuando  $\theta$  o  $L$  aumentan.

La comparación arriba mencionada se basa en la condición de que los dos sedimentadores tienen la misma magnitud del ángulo de inclinación, excepto que el uno trabaja hacia arriba y el otro hacia abajo. Como el principal objetivo de colocar un sedimentador en posesión inclinada es lograr la acción de autolimpieza durante la operación, si se argumenta que un sedimentador de flujo descendente requiere sólo un ángulo de inclinación de  $-30^\circ$  para aumentar la acción-

de autolimpieza normalmente alcanzada con un ángulo de inclinación de  $-60^\circ$  en un sedimentador de flujo ascendente, la comparación se debería basar en estos dos ángulos de igual magnitud. La figura 6.8 es la representación gráfica de la ecuación (6.7), con la unidad de flujo descendente inclinada a  $-30^\circ$  y la unidad de flujo ascendente a  $60^\circ$ . La comparación de resultados indica que la unidad de flujo descendente funciona mejor para valores de  $L$  por encima de 4. En el diseño práctico,  $L$  es más del doble de este valor. Por lo tanto, es preferible una unidad de flujo descendente cuando la remoción de lodos va a depender de la acción de autolimpieza. Sin embargo, la aplicación exitosa de una unidad de sedimentación de flujo descendente está en el diseño apropiado del sistema de recolección del efluente.

### 6.3 CARGA SUPERFICIAL VERSUS EFICIENCIA

La figura 6.9 muestra la eficiencia en la remoción de turbiedad con varias cargas superficiales. Como se puede observar y además es de esperarse la eficiencia de remoción disminuye con el aumento de carga superficial. Si una eficiencia de remoción de 80% es aceptable, el diseño de la carga superficial de 1,500 gpd/pie<sup>2</sup> (61 mcd/m<sup>2</sup>) puede usarse dentro de los límites de las escalas de variables usadas en experimentos.

Con la figura 6.9 se puede comparar el funcionamiento de los sedimentadores de alta tasa con el de los tanques de sedimentación convencionales. Para comenzar se asume que, bajo diseño y condiciones normales, la velocidad de asentamiento de las partículas de flóculos de aluminio y hierro es



de casi  $1,700 \text{ gpd/pie}^2$  ( $72 \text{ mcd/m}^2$ ). Usando las curvas de eficiencia desarrolladas por Hazen y la carga superficial para partículas de los flóculos mencionados anteriormente se construyeron tres curvas de eficiencia de remoción de turbiedad para tanques convencionales, como se muestra en la figura 6.10. Como se mencionó en el capítulo 2, en la figura 6.10 indica el funcionamiento del tanque:  $n = 0$  para funcionamiento óptimo,  $n = 1/3$  para un buen funcionamiento y  $n = 1$  para funcionamiento muy pobre. La curva de eficiencia de remoción experimental para los sedimentadores cilíndricos se muestra también con fines comparativos en la figura 6.10.

La figura 6.10 indica muchos puntos interesantes. Con una carga superficial mayor de  $1,000 \text{ gpd/pie}^2$  ( $40.7 \text{ mcd/m}^2$ ), la eficiencia de los sedimentadores cilíndricos, excede a la de los tanques de sedimentación convencionales de óptimo funcionamiento. Con una carga superficial mayor de casi  $700 \text{ gpd/pie}^2$  ( $28.5 \text{ mcd/m}^2$ ), la eficiencia de los sedimentadores cilíndricos es mejor que la de los tanques de sedimentación convencionales de buen funcionamiento. A medida que la carga superficial disminuye, el mejoramiento en el funcionamiento del sedimentador tiende a ser menos rápida que en el caso de los tanques de sedimentación convencionales. Si una carga superficial de  $800 \text{ gpd/pie}^2$  ( $32.6 \text{ mcd/m}^2$ ) diseñada para un tanque de sedimentación convencional de buen funcionamiento es considerada aceptable, se puede lograr entonces una eficiencia similar con sedimentadores de alta tasa que trabajan con una carga superficial de aproximadamente  $1,500 \text{ gpd/pie}^2$  ( $61 \text{ mcd/m}^2$ ). En consecuencia, si se aplican los criterios de carga superficial utilizados en los tanques de sedimentación convencionales a los sedimentadores de alta tasa, estos últimos deberían dar mejor rendimiento dentro de la escala de diseño de cargas superficiales.

Un hecho notable en la comparación de los funcionamientos, es la manera cómo la eficiencia varía con la carga superficial. En los tanques de sedimentación convencionales - una ligera sobrecarga podría significar una disminución --- drástica en la eficiencia. Por ejemplo, considérese un tanque de sedimentación de buen funcionamiento que tiene una carga superficial de 800 gpd/pie<sup>2</sup> (32.6 mcd/m<sup>2</sup>). De acuerdo con la figura 6.10, la eficiencia de remoción será de alrededor del 80%. Si el tanque se sobrecarga en 150% de su capacidad de diseño, la eficiencia baja casi 69.5%. En condiciones similares, el cambio en eficiencia en los sedimentadores circulares sería del 83.5 al 81.5%. Estos muestra que un sistema de sedimentación de alta tasa es capaz de absorber sobrecargas sin sacrificar mucho la eficiencia de remoción.

La curva de eficiencia del sedimentador cilíndrico presentada en las figuras 6.9 y 6.10 puede muy bien ser conservadora, en vista de la turbiedad relativamente baja del --- agua cruda usada. Es un hecho experimentalmente establecido que el porcentaje de la eficiencia de remoción de los sedimentadores de flujo ascendente de alta tasa mejora con la - turbiedad del agua cruda.

#### 6.4 EFECTOS DE LA TURBIEDAD EN LA EFICIENCIA

La figura 6.11 presenta las curvas de eficiencia de -- remoción para tres niveles diferentes de turbiedad de agua-cruda: 30, 50, y 90 mg/l. La figura 6.11 muestra que la eficiencia de remoción aumenta con la turbiedad del agua cruda para todas las cargas superficiales. A una carga superficial baja, la eficiencia de remoción excede del 94% cuando la turbiedad del agua cruda es 90 mg/l. La eficiencia correspon---

diente para una turbiedad de agua cruda de 30 mg/l es de -- 89%. Las razones para esta mejora en la eficiencia podrían ser la mejor floculación antes de la sedimentación y la mejor recolección de partículas durante la sedimentación. Ambos se traducen en partículas de flóculos más pesados o más grandes.

#### 6.5 EFECTO DE LA VELOCIDAD DEL FLUJO EN LA EFICIENCIA

En el diseño de tanques de sedimentación convencionales la velocidad de translación del flujo se mantiene generalmente por debajo de 1 pie/min (30 cm/min). De modo similar, las altas velocidades de translación de flujo tienen -- también efectos adversos en el funcionamiento de los sedimentadores de alta tasa.

La figura 6.12 muestra el efecto de la baja velocidad en el funcionamiento de sedimentadores cilíndricos con una turbiedad de agua cruda de 50 mg/l. Los sedimentadores con velocidades de flujo menores de 4 gpm/pie<sup>2</sup> o 0.54 pies/min (16.3 cm/min) tienden a funcionar mejor que aquellos con velocidades mayores de 6 gpm/pie<sup>2</sup> o 0.8 pies/min (24.4 cm/min) especialmente con altas cargas superficiales. Como se muestra en la figura 6.13, el efecto es aún más pronunciado por una turbiedad de agua cruda de 30 mg/l. Las dos líneas de -- punto en las figuras 6.12 y 6.13 representan las curvas de eficiencia promedio para sedimentadores cilíndricos con velocidades de flujo iguales a 0.54 pie/min (16.3 cm/min) la inferior y 0.8 pie/min (24.4 cm/min) la superior. Nótese que no existen diferencias apreciables en eficiencia entre sedimentadores con velocidades de flujo de 0.8 y 1.07 pie/min -- (24.42 y 32.56 cm/min). Lo mismo es cierto para sedimentado-

res con las dos cargas superficiales inferiores con una turbiedad de agua cruda de 30 mg/l. También se ha observado que con altas cargas superficiales y velocidades de flujo de 0.45 pie/min (16.28 cm/min) siempre se obtiene un funcionamiento ligeramente mejor que el que se consigue con una velocidad de flujo de 0.27 pie/min (8.14 cm/min).

De acuerdo con resultados experimentales presentados en las figuras 6.12 y 6.13, una velocidad de flujo aproximadamente 0.6 pie/min (18.3 cm/min) o menos en el diseño de sedimentadores, da mejor rendimiento, especialmente cuando la turbiedad del agua cruda es relativamente baja.

#### 6.6 OTRAS VARIABLES

Como se indica en la ecuación (6.6), el parámetro "carga superficial" incorpora casi todas las variables físicas normalmente consideradas en el diseño de un sistema de sedimentación de alta tasa. Sin embargo, como en el caso de la velocidad de flujo, puede también dársele límites a otras variables de diseño para asegurar un buen funcionamiento. Esta sección trata de otras dos variables en la ecuación (6.6):  $L$  y  $\theta$ .

La figura 6.14 presenta la eficiencia de los sedimentadores cilíndricos contra la carga superficial a diferentes ángulos de inclinación para una turbiedad de agua cruda de 50 mg/l. No aparece allí ninguna tendencia definida que indique que la eficiencia del sedimentador pudiera ser afectada adversamente si el ángulo de inclinación excediese cierto límite, por lo menos dentro de la escala estudiada. Esto significa que, computando la carga superficial de la ecuación ---

(6.6), el efecto del ángulo de inclinación ha sido debidamente considerado y que en el diseño práctico no se necesita ninguna consideración adicional.

La figura 6.15 presenta la eficiencia de sedimentadores cilíndricos contra la carga superficial con diferentes valores de  $L$ , longitud relativa. La figura 6.15 indica que, como en el caso del ángulo de inclinación, la carga superficial computada en la ecuación (6.6) ha incorporado la influencia de la longitud relativa y no se necesitan consideraciones adicionales, por lo menos dentro de la escala experimental de  $L$ .

#### 6.7 PROBLEMA.

Se desea diseñar un sedimentador de placas para una potabilizadora que tiene una capacidad de  $18,144 \text{ m}^3/\text{día}$ .

#### SOLUCION:

NOTA: La unidad de sedimentación se diseña siguiendo los -- criterios expuestos por Jorge Arboleda Valencia (1) -- en su libro "TEORIA, DISEÑO Y CONTROL DE LOS PROCESOS DE CLARIFICACION DEL AGUA", publicación del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental-CEPIS-(OPM-OMS). Capítulos V y VI.

##### 1) Número de sedimentadores

Se utilizarán dos sedimentadores de alta velocidad, -- con láminas de A-C paralelas e inclinadas  $60^\circ$  con respecto a la horizontal. La separación entre las láminas garantiza flujo laminar.

Dimensiones de las láminas de A-C (cm)	2.40X1.20X1
Angulo ( $\theta$ ) de inclinación de las láminas A-C	$60^\circ$
Separación o espaciamiento (e) entre las láminas A-C (cm)	8

##### 2) Tasa de desbordamiento superficial ( $q$ o $v_{sc}$ )

Se asume una carga superficial igual a  $30 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ .

##### 3) Area superficial ( $A_s$ )

$$\theta = 60^\circ$$

$$\begin{aligned}
 e &= 8 \text{ cm} \\
 l &= 1.2 \text{ m, menos longitud de A-C} \\
 L &= l/e = 1.2/0.8 = 15, \text{ longitud relativa} \\
 S_c &= 1 \\
 v_o &= \text{velocidad promedio de flujo a trav3s del sedimentador.} \\
 v_{sc} &= 30 \text{ m/d3a} \\
 S_c &= 1.0 = \frac{v_{sc}}{v_o} (\text{sen}\theta + L\cos\theta) \\
 v_o &= v_{sc} (\text{sen}60 + L\cos60) \\
 Q_s &= v_o A_s = \frac{Q_s}{v_s (\text{sen}60 + L\cos60)} \\
 A_s &= \frac{9072 \text{ m}^3/\text{d3a}}{30 \text{ m/d3a} (\text{sen}60 + 15\cos60)} = 36.2 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

4) Dimensiones del sedimentador (largo X ancho).

Mayor longitud de la l3mina de A-C (m)	2.4
Ancho de cada sedimentador (m)	4.8
Longitud real del sedimentador (m)	$\frac{36.2}{4.8} = 7.6$

5) N3mero de l3minas de A-C

$$\frac{7.6 \text{ m}}{0.08 \text{ m}} + 1 = 96/2.4 \text{ m ancho}$$

$$\text{N3mero total de l3minas (2 tendidos)} = 96 \times 2 = 192 \text{ l3minas}$$

$$\text{Las l3minas se extender3n: } 7.6 \text{ m} + 96(0.01 \text{ m/l3mina})$$

$$: 8.56 \text{ m}$$

6) Verificación de las condiciones de flujo

$$S_c = 1.0$$

$$v_o = v_{sc}(\text{sen}60 + 15\text{cos}60) = 30\text{m/día}(\text{sen}60 + 15\text{cos}60)$$

$$v_o = 251 \text{ m/día} = 0.29 \text{ cm/seg} = 17.43 \text{ cm/min}$$

$$N_{Re} = v_o e / \nu$$

$$e = 9 \text{ cm}$$

$$v_o = 0.29 \text{ cm/seg}$$

$$\nu_{(18^\circ\text{C})} = 1.061 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{seg}$$

$$N_{Re} = 0.29(9) / 1.061 \times 10^{-2}$$

$$N_{Re} = 246 < 500 \quad \text{bien (inclusive, menos que 250 que es lo preferible)}$$

7) Dispositivo de entrada

El agua floculada entrará al sedimentador por debajo de un tabique, ocasionándose una velocidad tal que no rompa o destruya los floc.

$$v_{(\text{entrada})} = 15\text{cm/seg}; \text{ sea } v_{(\text{entrada})} = 5 \text{ cm/seg}$$

$$A_{(\text{entrada})} = (2)(2.4 \text{ m})(h_{(\text{entrada})})$$

$$A_{(\text{entrada})} = 4.8 \text{ m}(h_{(\text{entrada})})$$

$$\text{Gasto por sedimentador} = Q_s = 0.105 \text{ m}^3/\text{seg} = v_e A_e$$



Por lo tanto  $0.105 \text{ m}^3/\text{seg}(4.8 \text{ m})(h_{\text{(entrada)}})$

$$h_{\text{(entrada)}} = \frac{0.105}{0.05(4.8)} = 0.4375 \text{ m}$$

Sea  $h_{\text{(entrada)}} = 0.44 \text{ m} = 44 \text{ cm}$

#### 8) Dispositivo de salida

El agua se recogerá en 3 canales que se extenderán a lo largo de la longitud mayor del tanque, esto es --- 8.56 m. Cada canal recibirá agua por ambos lados, cual vertedores, para conducirla al canal que comunicará -- con el sistema de filtración.

Dimensiones de los canales colectores:

Longitud total del vertedor :

(3 canales)(2 vertedores/canal)(8.56m/vertedor)

51.36 m

Carga sobre el vertedor:

$$[(0.105 \text{ m}^3/\text{seg})/51.36\text{m}][\frac{60\text{seg}}{\text{min}} \frac{60\text{min}}{\text{hr}}]$$

$$7.36 \text{ m}^3/\text{m-hr}$$

$$6 < 7.36 \text{ m}^3/\text{m-hr} < 12 \quad \text{bien}$$

Trabajando a descarga libre:  $h^{3/2} = 73 \text{ Q/W}$

donde W = ancho del canal, cm

h = tirante en el canal, cm

Q = gasto, lps

$$h = \left[ \frac{73(105 \text{ l/seg})}{W} \right]^{2/3}$$

Sea  $W = 60$  cm entonces  $h = [73(105/60)]^{2/3}$

$$h = 25.37 \text{ cm}$$

$$h_{(\text{total})} = 25.37 \text{ cm} + \text{borde libre} = 40 \text{ cm}$$

$$\text{borde libre} = 15 \text{ cm}$$

Ver figura 6.7.1

#### 9) Volumen adicional para lodos

Se toma un volumen adicional igual al 20% del volumen total efectivo del sedimentador.

ancho del sedimentador: 4.8 m

De la figura 6.17: Profundidad total del sedimentador es igual a 3.14 m (las medidas usadas en esta figura son recomendaciones empíricas).

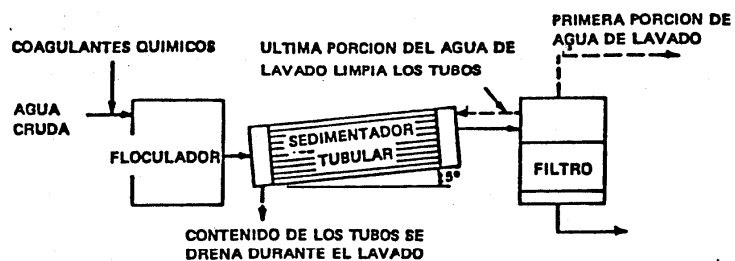
$$\begin{aligned} \text{Profundidad efectiva} &= 3.14\text{m} - \text{borde libre} = 3.14\text{m} - 0.3\text{m} \\ &= 2.84\text{m} \end{aligned}$$

$$\text{Volumen del sedimentador} = 4.8\text{m}(8.56\text{m})(2.84\text{m}) = 116.7 \text{ m}^3$$

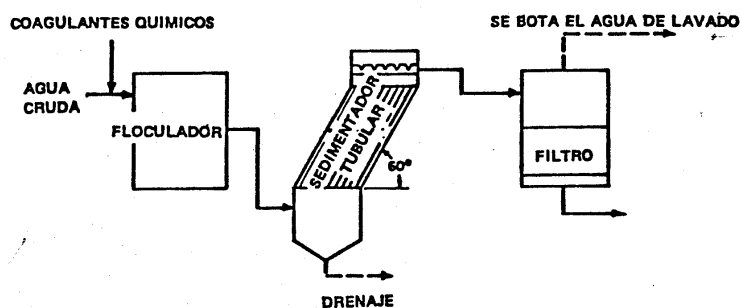
$$\text{Volumen para lodos (adicional)} = 116.7 \text{ m}^3(0.20) = 23.34 \text{ m}^3$$

$$23.34\text{m}^3 = 4.8\text{m}[1(h+2)\left(\frac{3.78h}{2}\right)]; h = 1 \text{ m}$$

$$\alpha = \tan^{-1}(1/3.78); \alpha = 15^\circ$$

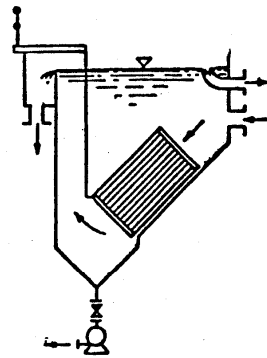


SEDIMENTADOR TUBULAR ESENCIALMENTE HORIZONTAL

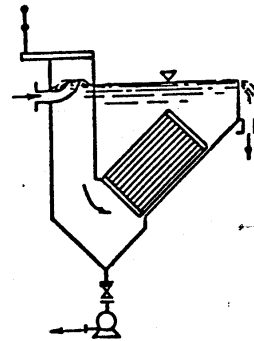


SEDIMENTADOR TUBULAR CON INCLINACION PRONUNCIADA

Fig. 6.1 Unidades modulares Microfloc (firma Microfloc Inc., de EE.UU).



SEPARACION DE ACEITE



SEPARACION SOLIDO-LIQUIDO

Fig. 6.2 Separador de placas inclinadas.

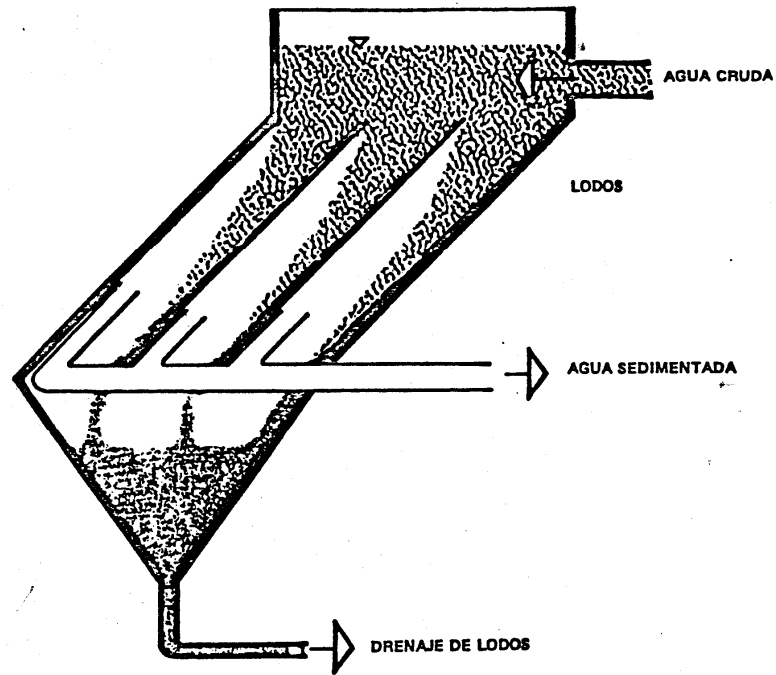


Fig. 6.3 Separador Lamella.

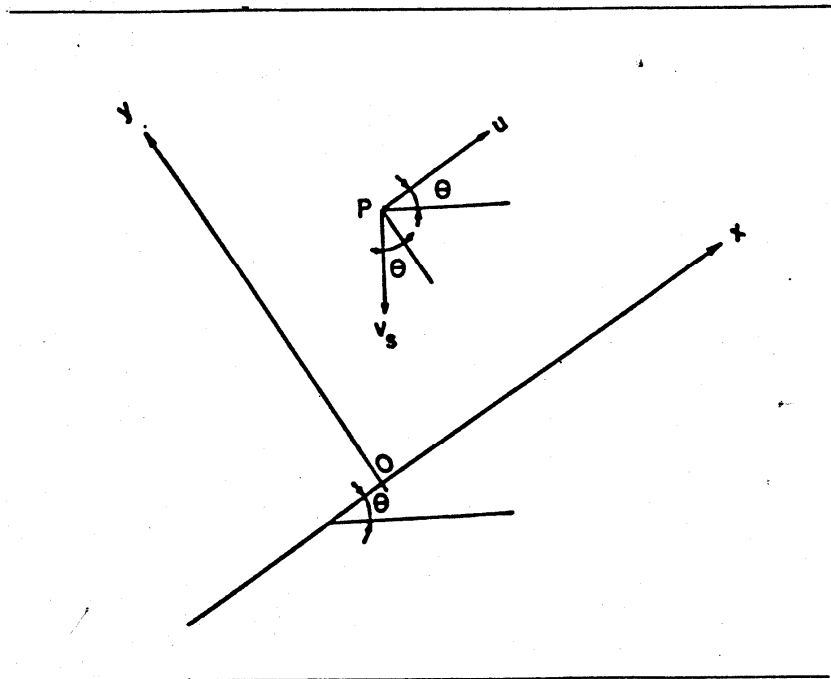


Fig. 6.4 Sistema de coordenadas para el estudio teórico.

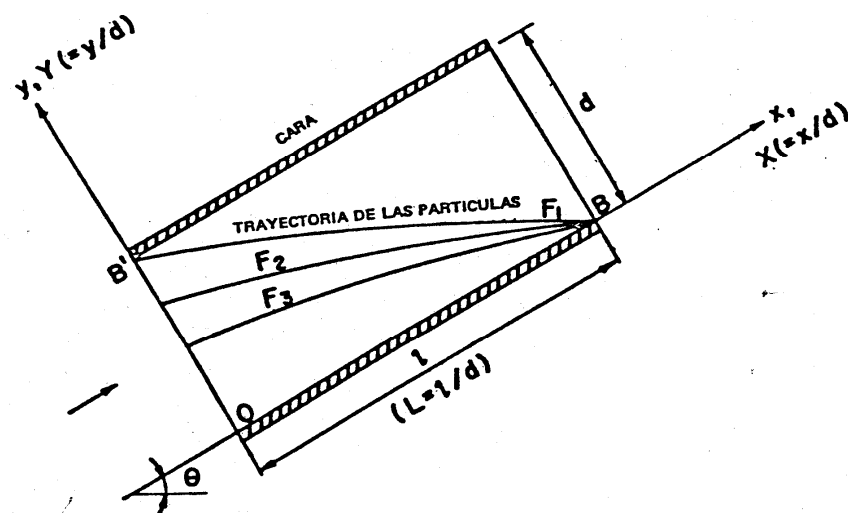


Fig. 6.5 Esquema de la trayectoria de las partículas en un sedimentador de alta tasa.

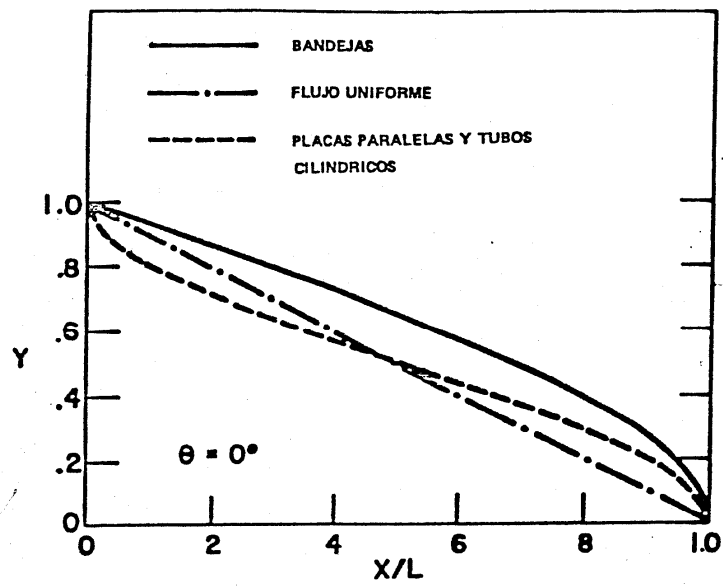


Fig. 6.6 Trayectorias límites en diferentes tipos de sedimentadores.



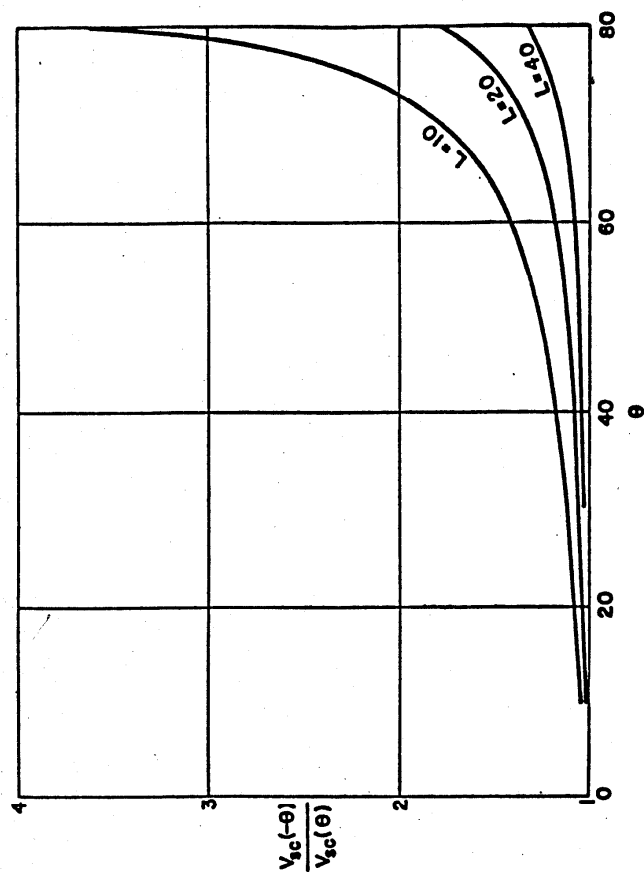


Fig. 6.7 Comparación entre sedimentadores de alta tasa de flujo ascendente y descendente para diferentes longitudes relativas.

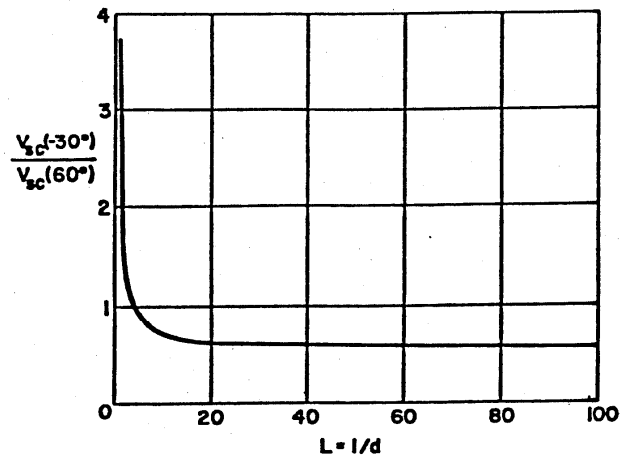


Fig. 6.8 Representación gráfica de la ecuación (6.7), con la unidad de flujo descendente inclinada a  $-30^\circ$  y la unidad de flujo ascendente a  $-60^\circ$ .

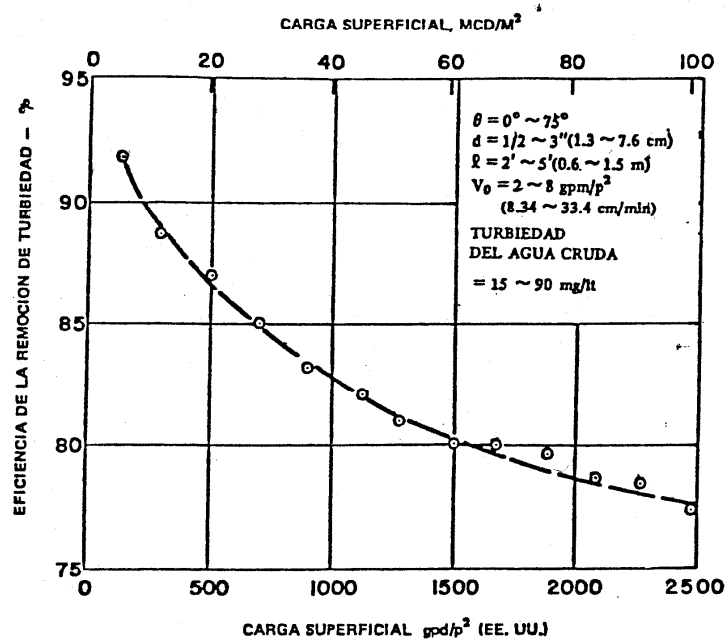


Fig. 6.9 Curva de eficiencia de remoción para varias cargas superficiales en sedimentadores de alta tasa experimentales.

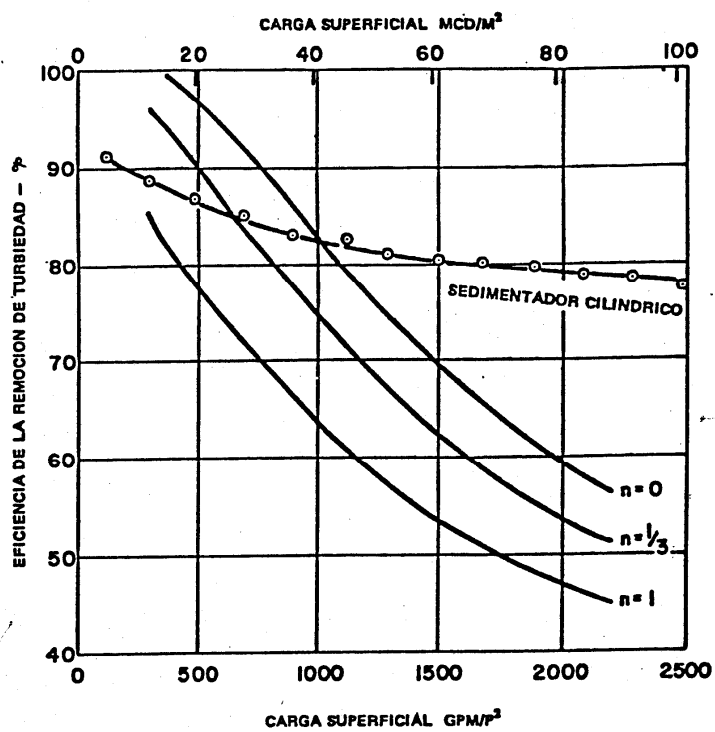


Fig. 6.10 Comparación del comportamiento entre sedimentadores convencionales cilíndricos.

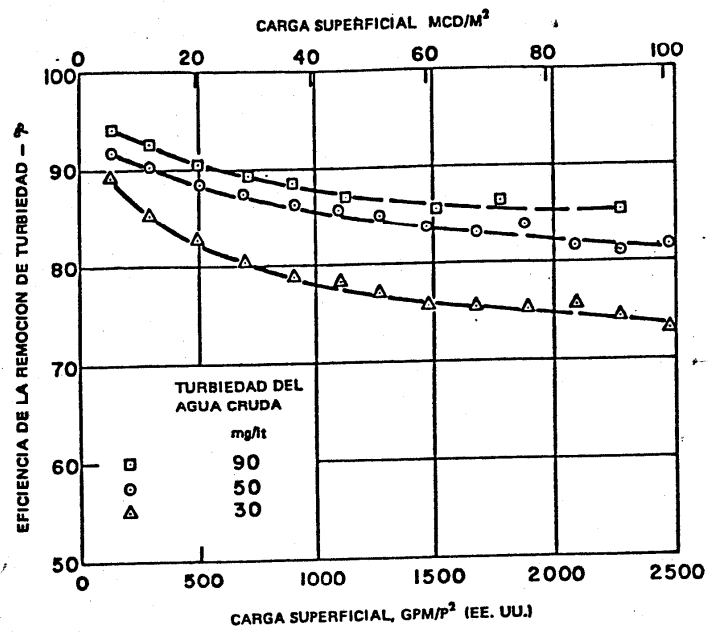


Fig. 6.11 Efecto de la turbiedad del agua cruda en la eficiencia de los sedimentadores cilíndricos.

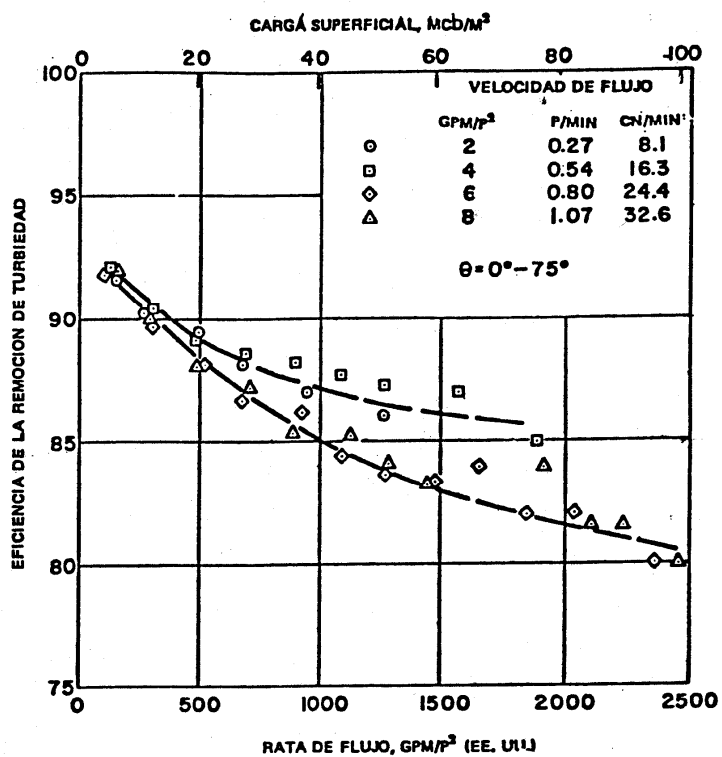


Fig. 6.12 Efecto de la velocidad de flujo en la eficiencia de los sedimentadores cilíndricos (turbiedad del agua cruda = 50 mg/l).

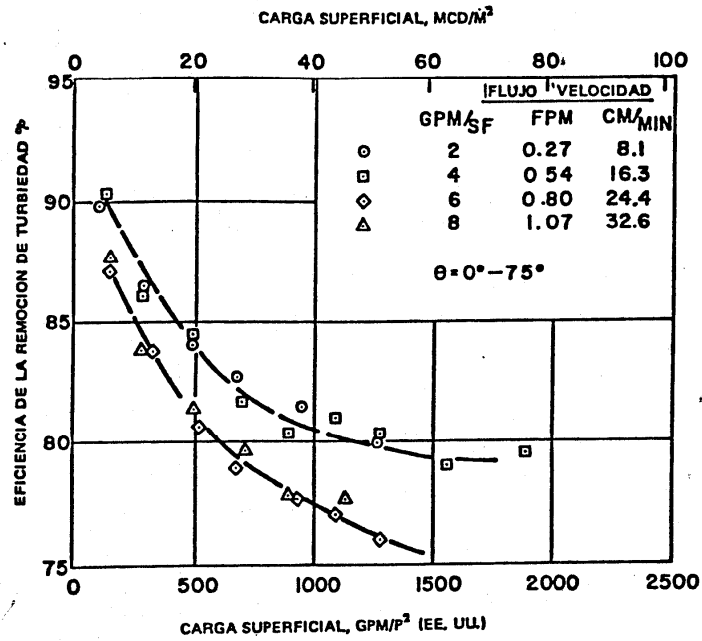


Fig. 6.13 Efecto de la velocidad de flujo en la eficiencia de los sedimentadores cilíndricos (turbiedad del agua cruda = 30 mg/l).

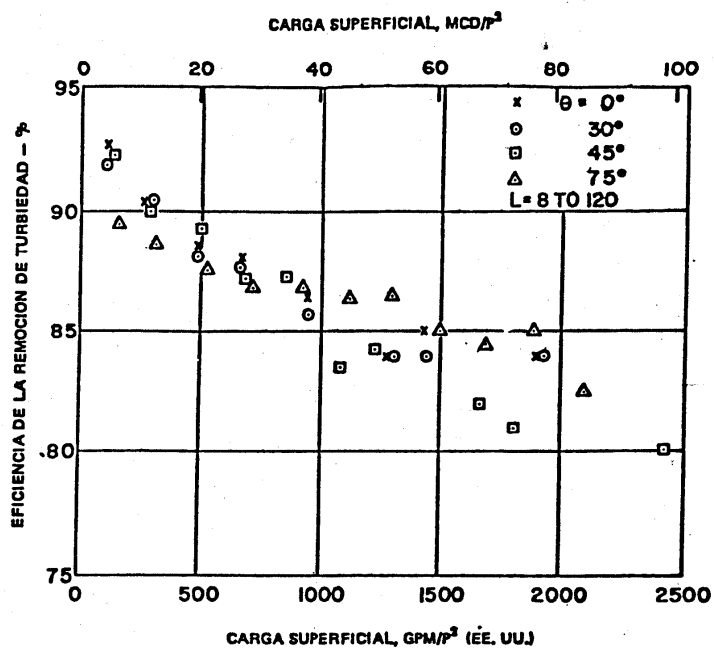


Fig. 6.14 Carga superficial contra eficiencia para diferentes ángulos de inclinación.



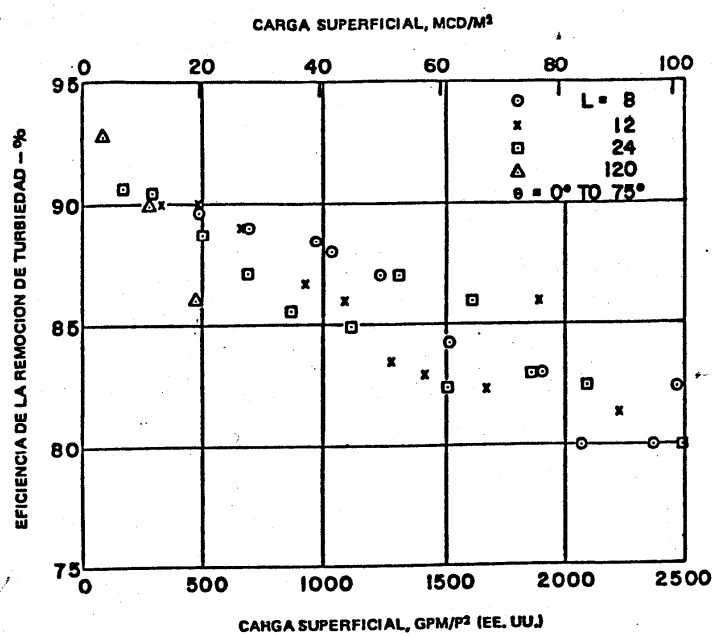
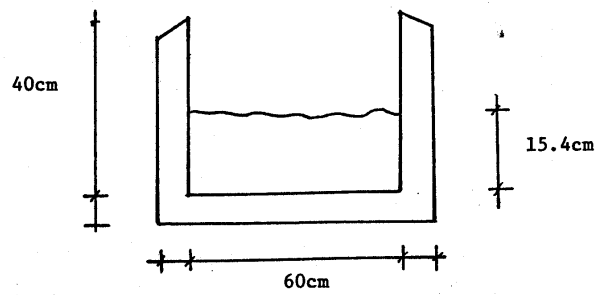
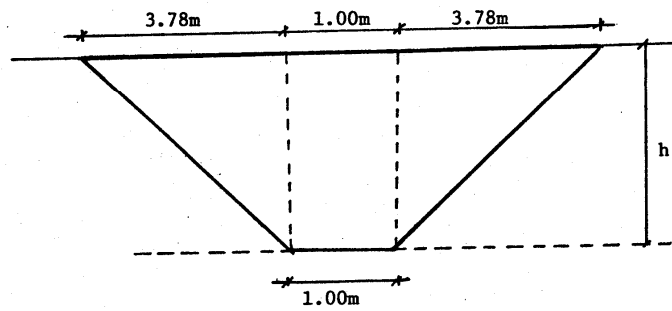


Fig. 6.15 Carga superficial contra eficiencia para diferentes valores de L (turbiedad del agua cruda = 50 mg/l).



Canaleta de salida



Tolva para lodos

Fig. 6.16

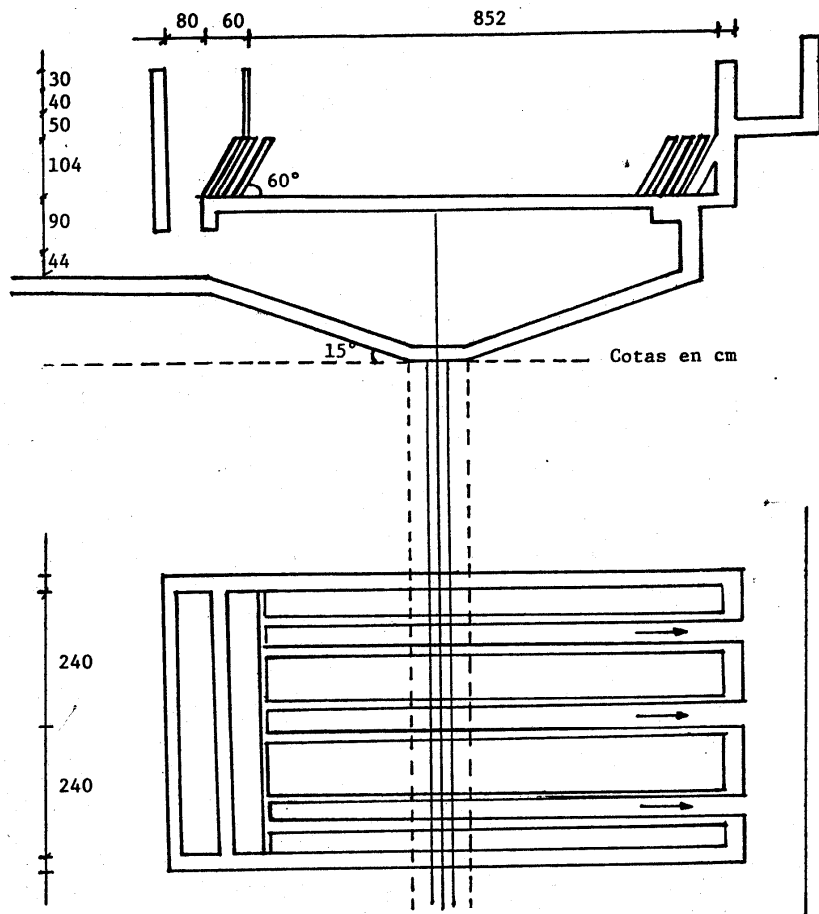


Fig. 6.17