

Estudio sanitario del agua.

J A . P E R E Z L Ó P E Z Y M . E S P I G A R E S G A R C Í A

1995. Universidad de Granada

SEPARACIÓN POR GRAVEDAD . SEDIMENTACIÓN-FLOTACIÓN

Probablemente sean las operaciones mas utilizadas desde tiempos remotos por su simplicidad, efectividad y bajo coste. En ambos casos se trata de un procedimiento físico de separación sólido-líquido, en el que la principal fuerza que interviene es la de gravedad, en función de la densidad de las partículas contenidas en el seno del líquido.

Cuando la densidad de las partículas es mayor o menor que la del agua, si se dan las condiciones adecuadas, estas tienden a sedimentar o flotar de forma espontánea, respectivamente, lo que en muchas ocasiones se consigue con sólo disminuir la velocidad del agua. En ocasiones, ambas operaciones pueden realizarse de forma simultánea en el mismo depósito, en cuyo caso bastaría con facilitar la salida del agua por la zona de clarificación intermedia.

Sedimentación

Puede emplearse para la separación de una amplia variedad y concentraciones de materiales en suspensión. Esta operación también puede utilizarse para la clarificación de aguas naturales y residuales o para la concentración de fangos. De acuerdo con las características de la suspensión y de las partículas implicadas pueden distinguirse tres modalidades de sedimentación, que no solo no son excluyentes entre sí, sino que, por contra, frecuentemente son concurrentes (Fig. 10.6).

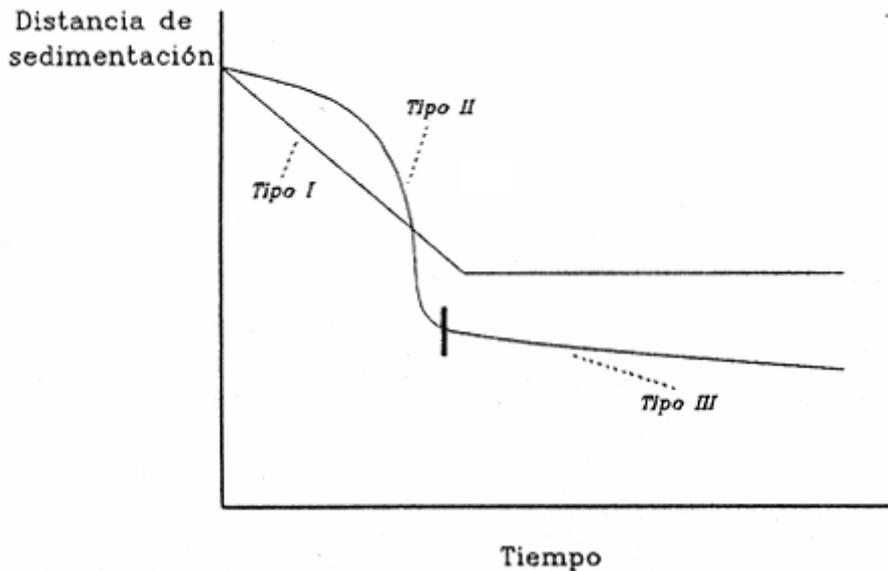


FIGURA 10.6. Tipos de sedimentación.

Sedimentación libre o discreta (Tipo 1): tiene lugar en suspensiones cuyas partículas no pueden flocular debido a su baja concentración, depositándose sin interacciones significativas entre ellas. Una partícula granular en suspensión en medio líquido está sometida a una fuerza descendente F_D , debida a la gravedad, y a una fuerza resistente F_R , debida al rozamiento con el fluido, que es la resultante de las fuerzas de viscosidad y de inercia. En un decantador vertical se retendrán las partículas cuya velocidad de sedimentación sea superior a la velocidad ascendente del líquido.

Sedimentación difusa de partículas floculadas (Tipo II): en suspensiones con una concentración relativamente baja de sólidos floculantes, como por ejemplo las aguas sometidas a floculación con reactivos químicos, las partículas pueden aglutinar (coalescencia), flocular y sedimentar con una velocidad creciente en un depósito de flujo horizontal. La gráfica que representa la velocidad de sedimentación en función del tiempo es curvilínea, ya que las partículas tienden a flocular durante el transcurso de la sedimentación.

Sedimentación zonal, o frenada (Tipo III): es característica de suspensiones con una concentración muy elevada de partículas, floculantes o no, tales como los fangos activados o las suspensiones con concentración de sólidos superior a 500 mg/L. Las partículas se adhieren entre sí y la masa sedimenta en bloque o pistón. Las interacciones entre las partículas provocan una disminución de la velocidad de sedimentación individual de cada una de ellas, lo que provoca la

disminución de la velocidad del conjunto. Se caracteriza por una separación netamente definida entre la masa fangosa y el líquido sobrenadante.

Diseño de los decantadores: para proceder al diseño de los depósitos o estanques de sedimentación es necesario estudiar el rendimiento del proceso en unas condiciones determinadas, para lo que es imprescindible conocer la velocidad y tipo de sedimentación del material particulado. Si en una probeta se coloca una muestra del agua problema, en un tiempo t , la interfase sólido-líquido estará situada a una distancia d de la superficie (Fig. 10.7). La velocidad de sedimentación en la interfase será:

$$V_s = d / t$$

lo que significa que todas las partículas con velocidad igual o mayor que V_s sedimentarán en el tiempo t . Cuando se realizan sucesivas observaciones a diferentes tiempos, hasta la sedimentación de todas las partículas del agua, se obtienen valores crecientes del material sedimentado S , que pueden expresarse como porcentaje del total de partículas sedimentadas para cada tiempo. Si se representara gráficamente el proceso, se obtendría una curva similar a la de la (FIGURA. 10.8), que permite seleccionar una velocidad de sedimentación V_1 que permita la eliminación de $100 - X_1$ % del material sedimentable.

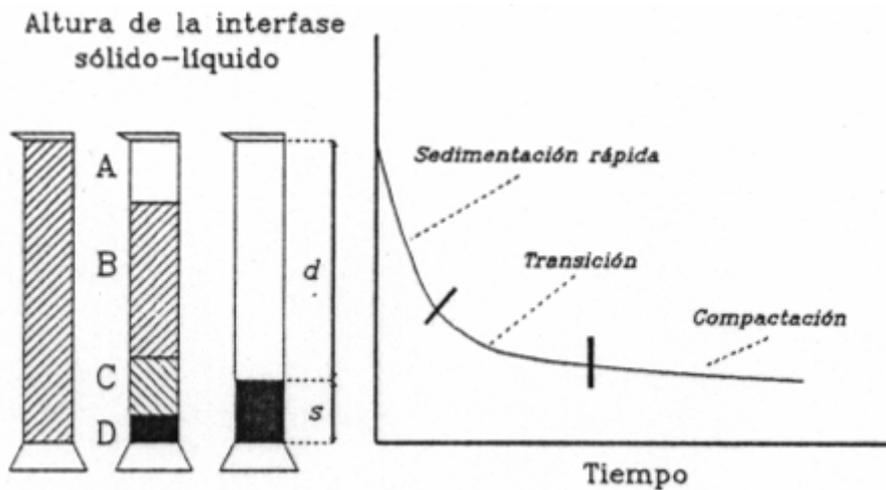


FIGURA 10.7. Sedimentación en función del tiempo.

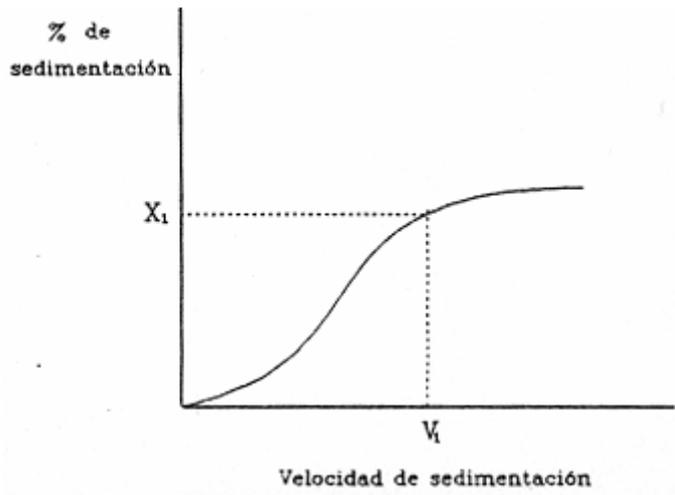


FIGURA 10.8. Relación entre porcentaje y velocidad de sedimentación.

- Sedimentación o decantación estática: el comportamiento de las partículas sedimentables, cuando el agua circula con un flujo continuo y laminar (no turbulento), es similar a un sistema estático (sedimentación o decantación estática) como el previamente descrito en la probeta, y el movimiento descendente de las partículas está representado por la resultante de la suma de los vectores correspondientes a la velocidad horizontal del agua V_a y la descendente de la partícula V_s , en el caso de un decantador de flujo horizontal (Fig. 10.9), o como la diferencia de los vectores que representan la velocidad ascendente del agua V_a y la de sedimentación de las partículas V_s en un decantador de flujo vertical (Fig. 10.10).

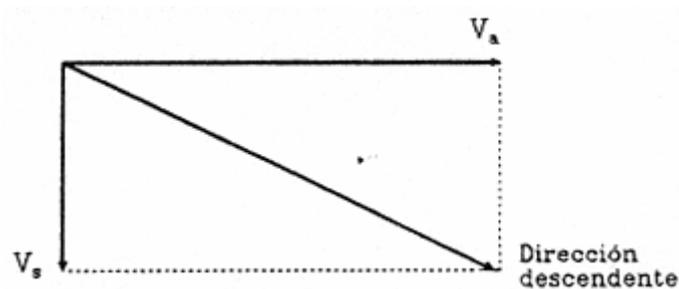


FIGURA 10.9. V_s en decantador horizontal.

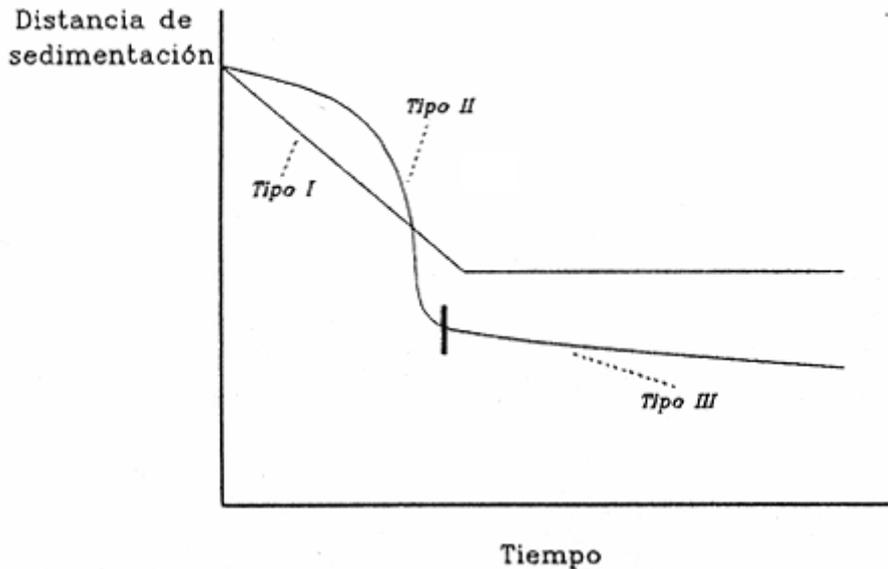


FIGURA 10.10. V_s en decantador vertical.

Un aspecto muy importante a considerar es el tiempo de detención (t_d) del agua en el decantador, que debe ser el suficiente para permitir que las partículas puedan depositarse en el fondo del mismo, para lo cual éste debe dimensionarse adecuadamente. Si la altura del decantador es h , y la velocidad de sedimentación seleccionada para extraer un determinado porcentaje de sólidos V_1 , podría expresarse:

$$V_1 = h/t_d$$

Si el decantador está vacío, y comienza a entrar en él un caudal de agua Q , el tiempo teórico necesario para que se complete su volumen V se correspondería con el de detención:

$$t_d = V/Q$$

Sustituyendo en la expresión anterior el volumen por el producto de la superficie S por la altura del decantador h :

$$t_d = S \cdot h/Q, \text{ de donde } h = t_d \cdot Q/S$$

Sustituyendo el valor de h en la primera expresión $V_1 = h/t_d$ obtendríamos:

$$V_1 = Q/S$$

de lo que puede deducirse que el rendimiento de la sedimentación está en relación con la superficie del decantador y no con su altura, fenómeno en el que se basa el funcionamiento de los sedimentadores laminares.

- Sedimentación o decantación por contacto de fangos: la decantación por contacto de fangos favorece la floculación y mejora el rendimiento, además de aumentar la adsorción de sustancias disueltas sobre los flóculos ya formados. Se consigue aumentando la concentración de flóculos mediante un lecho de fangos o recirculando parte de los fangos formados. En el primer caso, el fondo fangoso de los decantadores puede llegar a compactarse por la propia compresión del material sedimentado, por lo que cuando se diseñan decantadores de flujo vertical, se dota a éstos de sistemas que permitan la descompresión de la zona de sedimentación cuando al agua a tratar pasa a su través, con objeto de formar una capa de material fangoso que actúa como

filtro del agua bruta y que favorece enormemente el contacto de las nuevas partículas con las ya sedimentadas y por tanto su coagulación-floculación y sedimentación.

Cuando se utiliza simultáneamente carbón activo en polvo (PAC) para la adsorción de algunas sustancias indeseables, la concentración de éste en el fango es tal, que puede reducirse la dosis hasta en un 40 %.

- Sedimentación o decantación laminar: la decantación laminar consiste en multiplicar en un mismo estanque o depósito las superficies de separación agua-fango, por lo que la disposición en paralelo de superficies laminares o tubulares en la zona de decantación origina un gran número de unidades elementales de separación (n), lo que permite multiplicar el caudal por n , o bien, para un caudal constante, la longitud del decantador tradicional puede dividirse por n (Fig. 10.11). Para facilitar la eliminación del material sedimentado, es necesario disponer las laminas con un ángulo de inclinación, generalmente de 60° , respecto a la horizontal.

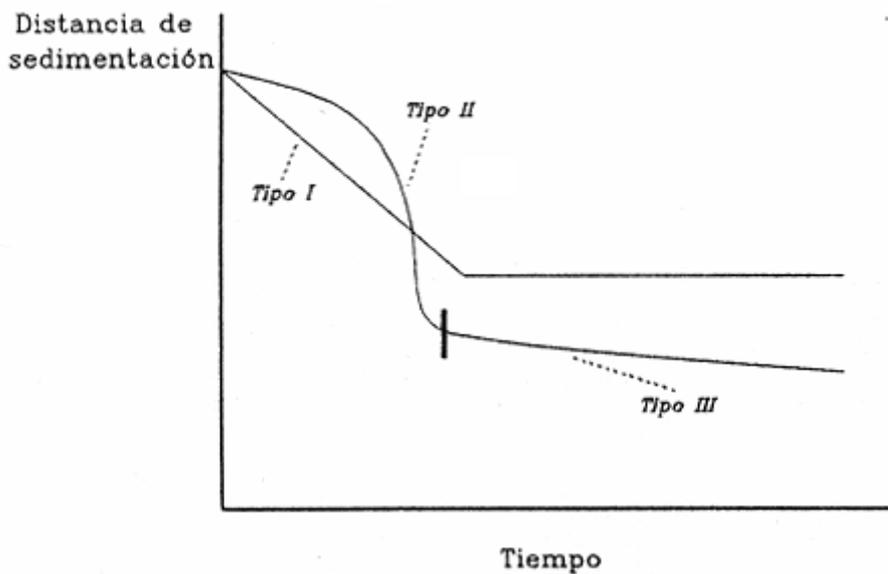


FIGURA 10.11. Decantación laminar (teoría).

Cuando se combina la decantación por contacto de fangos con módulos laminares, se produce una sedimentación acelerada.

Se pueden diferenciar tres tipos de sedimentación laminar:

- Contra corriente, cuando el agua y los fangos circulan en sentido inverso.
- A favor de corriente, cuando el agua y los fangos circulan en el mismo sentido de arriba a abajo.

- Corrientes cruzadas, cuando el agua y los fangos circulan de forma perpendicular.

La decantación contra corriente es la que permite la organización hidráulica más simple y fiable, y por lo tanto es la más utilizada. (Fig. 10.12).

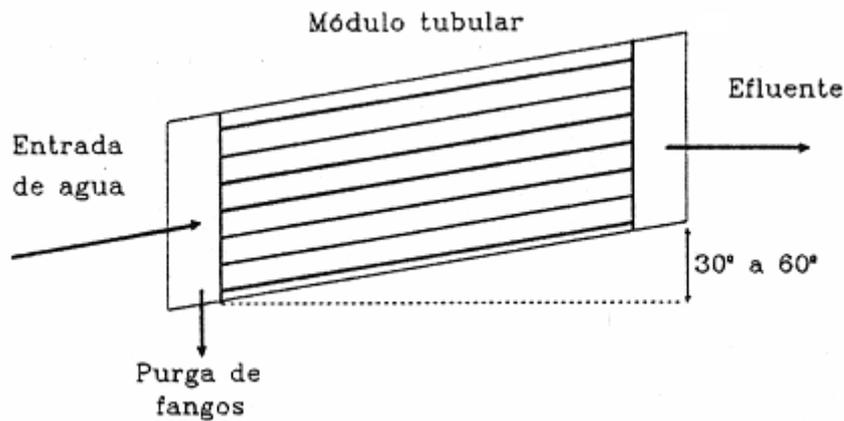


FIGURA 10.12. Decantador tubular contracorriente.

Las láminas pueden ser de características muy diversas: placas onduladas, tubos redondos, tubos cuadrados, tubos hexagonales, etc., pero la eficacia hidráulica de los tubos hexagonales es superior a la de los otros sistemas, ya que disminuyen considerablemente el riesgo de colmatación a la vez que ofrecen una superficie de sedimentación muy importante.

En los Sistemas de Abastecimiento para poblaciones grandes se debe diseñar un procedimiento de decantación que proporcione el mayor rendimiento posible, para lo cual se puede disponer un tipo de decantador con una capa de fango en expansión en el fondo del depósito, a través de la cual pasa el agua a tratar, desde abajo hacia arriba de manera regular y uniforme (Fig. 10.13). La agitación, muy lenta, para favorecer el contacto de las partículas, se realiza en el punto de introducción del agua, para lo cual, la entrada de agua se hace de forma intermitente mediante la introducción de un caudal grande de agua durante un período de tiempo muy corto, seguido de un período de reposo prolongado (mecanismo pulsator), lo que permite que la masa de fango se mantenga en suspensión regular y homogénea. El lecho de fangos, en estas circunstancias, se comporta como una especie de resorte que tiende a comprimirse por gravedad, pero que a su vez puede estirarse, en mayor o menor grado, en función de la velocidad del agua que pasa a su través, e incluso podría llegar a romperse (como consecuencia de la dispersión de los fangos y salida de los mismos por la parte superior del decantador) si la mencionada velocidad del agua no es la adecuada. El resorte funciona mejor si se aumenta la eficacia de la decantación, y por lo tanto el volumen de fangos decantados, introduciendo en el mismo depósito un sistema laminar o tubular que multiplica la superficie de decantación.

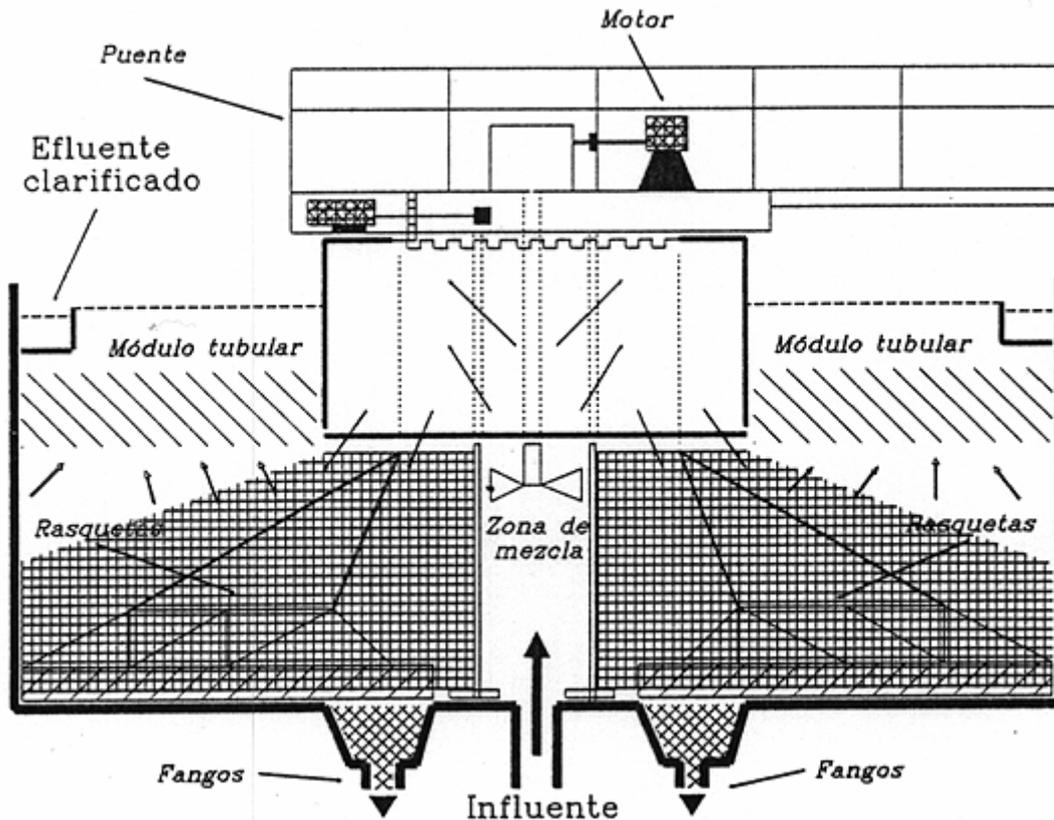


FIGURA 10.13. Decantador tipo *Pulsator* con módulo tubular.

En la práctica no existe un decantador ideal, ya que se producen remolinos, el viento puede crear ondas en la superficie, se originan corrientes de convección por diferencia de temperaturas y de densidad, etc. En lo posible se debe intentar conseguir una circulación laminar y estable, ya que cuanto más estable es la circulación del agua, más uniforme es la distribución de las velocidades en toda la sección del depósito y mejor el rendimiento hidráulico. En un depósito teórico de sedimentación ideal, pueden distinguirse cuatro zonas bien diferenciadas: zona de entrada, zona de salida, zona fangosa y zona de sedimentación. Las tres primeras son áreas especiales que permiten el fenómeno de sedimentación pero que, por ellas mismas, no influyen en la separación de partículas del seno del agua. (Fig. 10.14). Para que la sedimentación ideal tenga lugar deben cumplirse los siguientes requisitos:

- Flujo horizontal en la zona de sedimentación.
- Velocidad uniforme del agua en la zona de sedimentación.
- Concentración uniforme de todos los tamaños de partículas en el plano vertical que separa la zona de entrada de la zona de sedimentación.
- Las partículas son eliminadas una vez que alcanzan el fondo de la zona de sedimentación.
- Las partículas sedimentan discretamente sin interferencia con otras partículas de otras zonas.

El proceso de sedimentación puede verse afectado por muy diversos aspectos, entre los que destacan:

- La interferencia entre partículas.
- La concentración y características de éstas.
- El período de detención (relación entre el tiempo de tránsito efectivo y el tiempo teórico de detención expresado en forma de porcentaje), diseño y características del sedimentador.
- La modalidad de proceso utilizado.
- El empleo de coagulantes y/o floculantes.
- Las corrientes de densidad, que a su vez pueden estar ocasionadas por:
 - Diferencia de temperaturas.
 - Diferencia de densidad en relación a la turbidez.
 - Efecto del viento.
 - Disipación de la energía en la zona de entrada del agua al sedimentador
 - Si ésta no esta bien concebida, el flujo y la velocidad del agua no serán uniformes. Para ello conviene la disposición de pantallas deflectoras.
 - Corrientes en la zona de salida por mala disposición de las boquillas.
 - Corrientes creadas por partes móviles del equipo, como por ejemplo las rasquetas de recogida de fangos.
 -

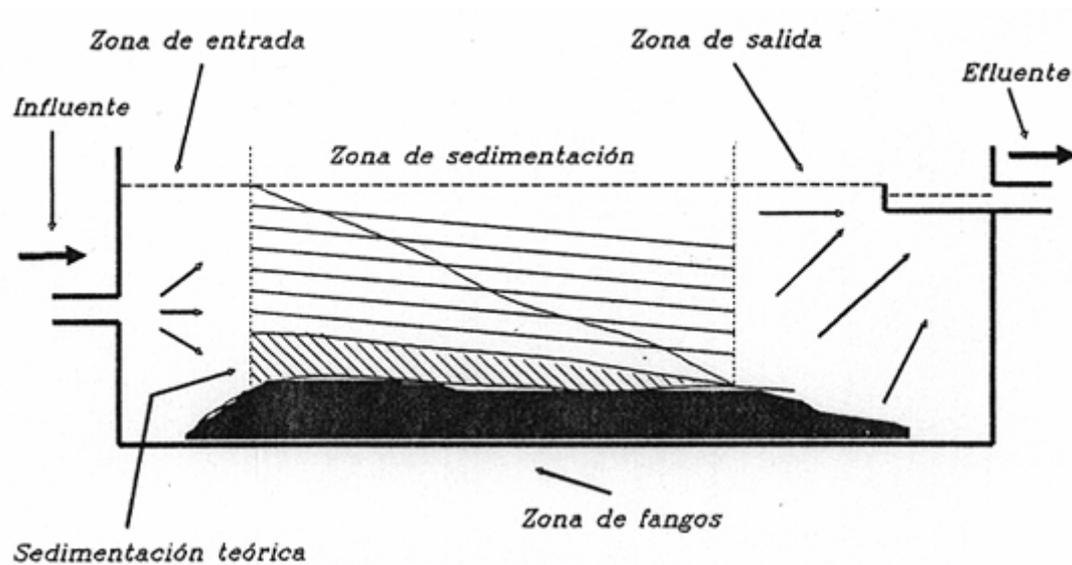


FIGURA 10.14. Estanque de sedimentación ideal.