

Sedimentación/Aguas

MIGMA

2015 / 2016

PROFESOR/A
Raúl Fernández



Esta publicación está bajo licencia Creative Commons Reconocimiento, No comercial, Compartir igual, (by-nc-sa). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte del mismo siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia. Más información: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Índice

1. Introducción.....	3
2. Objetivo del proceso	3
3. Fundamentos del proceso	4
4. Tipos de decantadores	6
4.1. Decantadores rectangulares.....	7
4.2. Decantadores circulares	8
4.3. Decantadores lamelares.....	10
5. Bases de diseño	12
6. Dimensionamiento de los equipos.....	14
7. Normas generales de diseño	15
7.1. Decantadores rectangulares.....	15
7.2. Decantadores circulares	16
8. Residuos generados	17
9. Bibliografía	19

1. Introducción

El proceso de decantación es una de las operaciones unitarias más antiguas que se conocen de las empleadas en el tratamiento de aguas residuales, ya sean urbanas o industriales, así como una de las más utilizadas en la actualidad, siendo un proceso netamente físico de eliminación de sólidos en suspensión por diferencia de densidad, de tal forma que las partículas con mayor densidad que el agua, son separadas por la acción exclusiva de la gravedad. En estas unidades no se separan aquellos sólidos en suspensión con un tamaño de partícula muy fino ni aquellos otros que se encuentren en estado coloidal, así como los que tengan una densidad próxima o inferior a la del agua a tratar.

El proceso de decantación es igualmente conocido con el nombre de sedimentación.

Como, en general, parte de los sólidos en suspensión están constituidos por materia orgánica, una consecuencia del tratamiento primario de las aguas residuales suele ser la reducción de la DBO, igualmente se puede conseguir una reducción de la contaminación bacteriológica, El grado de tratamiento o de reducción de estos índices de contaminación que se alcance en un tratamiento primario depende del proceso utilizado y de las características de las aguas residuales.

Una buena selección del tratamiento así como un buen diseño afecta a la economía de todo el proceso de tratamiento. Los recursos invertidos en el tratamiento primario con frecuencia dan rendimientos económicos muy altos en términos de costo por unidad de contaminante eliminada, es el proceso que elimina más DBO a menor coste.

Además, los decantadores ejercen un importante efecto de equalización del agua bruta, protegiendo las unidades aguas abajo.

2. Objetivo del proceso

El objetivo de la decantación es la reducción de los sólidos en suspensión bajo la exclusiva acción de la gravedad. En consecuencia, sólo se pretende la eliminación de los sólidos sedimentables y las materias flotantes. Se obtiene un líquido claro sobrenadante en la superficie del equipo y unos sólidos que son extraídos en forma de fangos o lodos, con una concentración más o menos elevada por el fondo.

Además de la remoción de los sólidos en suspensión y flotantes, la decantación redonda en un ahorro energético en el tratamiento biológico, toda vez que elimina sólidos en suspensión de naturaleza orgánica que consumen oxígeno para su degradación.

3. Fundamentos del proceso

El proceso de decantación se basa en la diferencia de peso específico entre la partícula sólida a separar y el agua, de tal forma que una disminución de la velocidad ascensional del líquido a un valor menor que la de caída del sólido, permita que la materia sedimentable se deposite en el fondo del equipo.

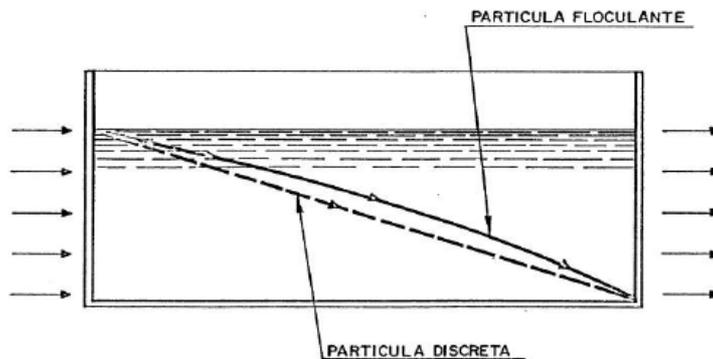
La decantación de partículas y en unas concentraciones en que no existan interferencias entre ellas puede ser estudiadas mediante las leyes de Newton y Stokes.

La velocidad de caída de las partículas puede ser determinada de forma teórica a partir de la ley de Stokes, ahora bien, presenta una serie de inconvenientes como:

- El peso específico de todas las partículas no es el mismo al tratarse de sólidos de diferente composición.
- Las partículas no son esféricas ni de sección circular.
- El tamaño y forma geométrica de las partículas es diferente de unas a otras.

En la sedimentación de partículas discretas éstas decantan de forma independiente, llegando a equilibrarse las fuerzas que actúan sobre la partícula adquiriendo ésta una velocidad constante de sedimentación, que bajo ciertas hipótesis ya comentadas, viene dada por la ley de Stokes.

En la sedimentación primaria las partículas tienen ciertas características que producen su floculación durante la sedimentación. Así, al chocar una partícula que está sedimentando con otra partícula, éstas (si tienen buenas características floculantes) se agregan (o floculan) formando una nueva partícula de mayor tamaño y aumentando en consecuencia su velocidad de sedimentación. En este caso la trayectoria de una partícula en un depósito de sedimentación sería una línea curva de pendiente creciente.



De acuerdo con la problemática que surge en la determinación de la velocidad teórica por lo apuntado anteriormente, la forma habitual de operar es la determinación experimental de una velocidad final de caída de las partículas (V) y proceder al dimensionamiento del tanque, de tal forma que queden eliminadas todas las partículas que posean una velocidad de caída mayor que la velocidad ascensional de agua.

La velocidad final de caída de las partículas se asimila como velocidad ascensional del agua en el decantador, y recibe el nombre de carga hidráulica, que representa la velocidad de desplazamiento del agua en el equipo que se opone a la caída de las partículas, de tal forma que decantarán todas aquellas cuya velocidad de decantación sea superior a la velocidad ascensional y que dispongan de un tiempo de residencia adecuado.

De acuerdo a lo anteriormente comentado, el área de un decantador vendrá dado por:

$$S_h(m^2) = \frac{Q(m^3/h)}{V(m/h)}$$

Siendo:

Sh: superficie, m²

Q: caudal, m³/h

Vc : velocidad ascensional del agua, m/h

En función del tiempo de retención hidráulico, el volumen del tanque vendrá dado por:

$$\text{Vol (m}^3\text{)} = Q(\text{m}^3/\text{h}) \times \text{Tr (h)}$$

Por otra parte:

$$\text{Vol (m}^3\text{)} = S_h (\text{m}^2) \times h (\text{m})$$

Y por tanto

$$h (\text{m}) = Q(\text{m}^3/\text{h}) \times \frac{\text{Tr (h)}}{S_h (\text{m}^2)}$$

Los decantadores primarios en las estaciones depuradoras eliminan una media de entre el 50% y 70% de los TSS, entre el 25% y el 40% de la DBO del agua residual bruta. Los rendimientos suelen caer por debajo de estos valores durante los momentos de Caudal punta.

Los diseños de decantadores primarios tradicionalmente se han basado en criterios de diseño empíricos. Esos criterios, unidos al entendimiento teórico del proceso de clarificación se usan para diseñar clarificadores primarios confiables y eficientes.

4. Tipos de decantadores

Aunque existen muchos tipos de decantadores, y casi cada decantador tiene sus particularidades que lo hacen único, aquí vamos a dividir los decantadores en los siguientes grandes grupos:

- Rectangulares
- Circulares
- De lamelas.

4.1. Decantadores rectangulares

Los decantadores rectangulares consisten en balsas rectangulares donde el agua entra por uno de sus extremos, saliendo por el opuesto, siendo el flujo paralelo a la dimensión más larga.

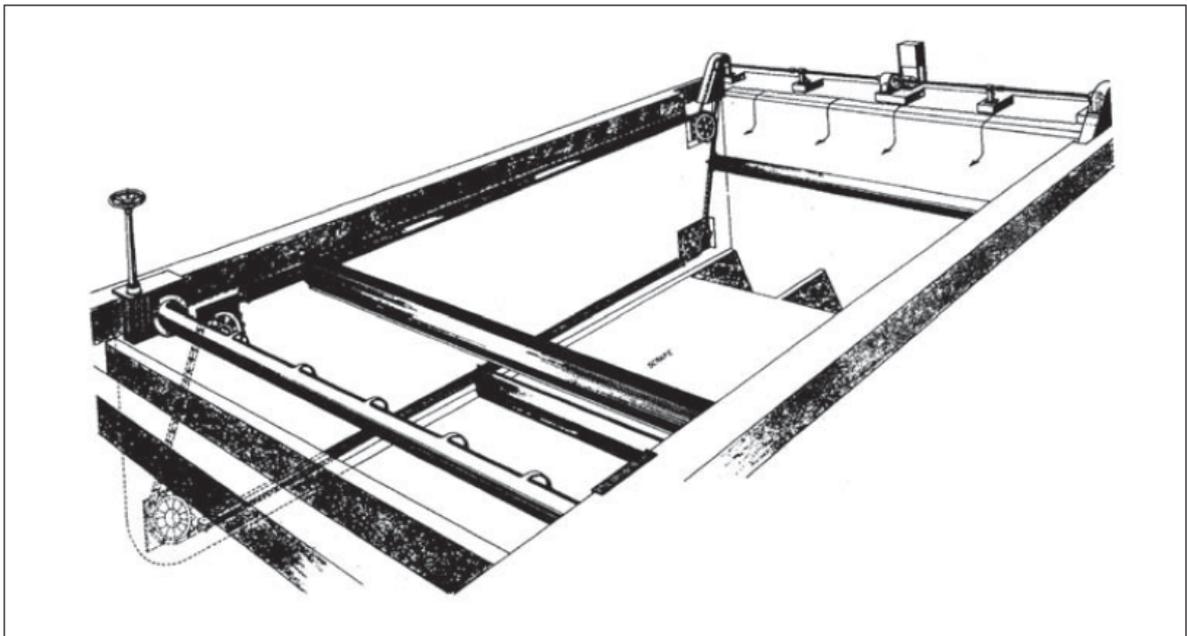
Los fangos depositados en el fondo del equipo, son arrastrados hasta uno de los extremos por un sistema de rasquetas o bien, mediante puentes móviles. Las rasquetas consisten en unos tabloncillos de madera o poliéster de 0,15 a 0,20 m de altura, que se extienden a toda la anchura del tanque.

Los sólidos arrastrados por las rasquetas son depositados en un canal transversal, de donde son eliminados por medio de un equipo de bombeo, sifón, tubería de purga, etc.

Las purgas de lodos suelen realizarse intermitentemente.

La entrada de líquido a tratar debe realizarse transversalmente al tanque por medio de vertedero, para que se distribuya el agua de forma regular a lo largo de toda la sección, con el fin de no producir zonas muertas de trabajo, lo que llevaría consigo una disminución en el rendimiento de la unidad.

La salida del líquido se llevará a cabo, al igual que la entrada, a lo largo de toda la anchura, mediante vertedero, en forma de dientes de sierra. Las rasquetas de lodos en su camino de vuelta, en ciertos equipos lo hacen por la superficie, produciendo el arrastre de las espumas y flotables. En otros casos, el arrastre de las mencionadas espumas se hace mediante cortinas de agua.

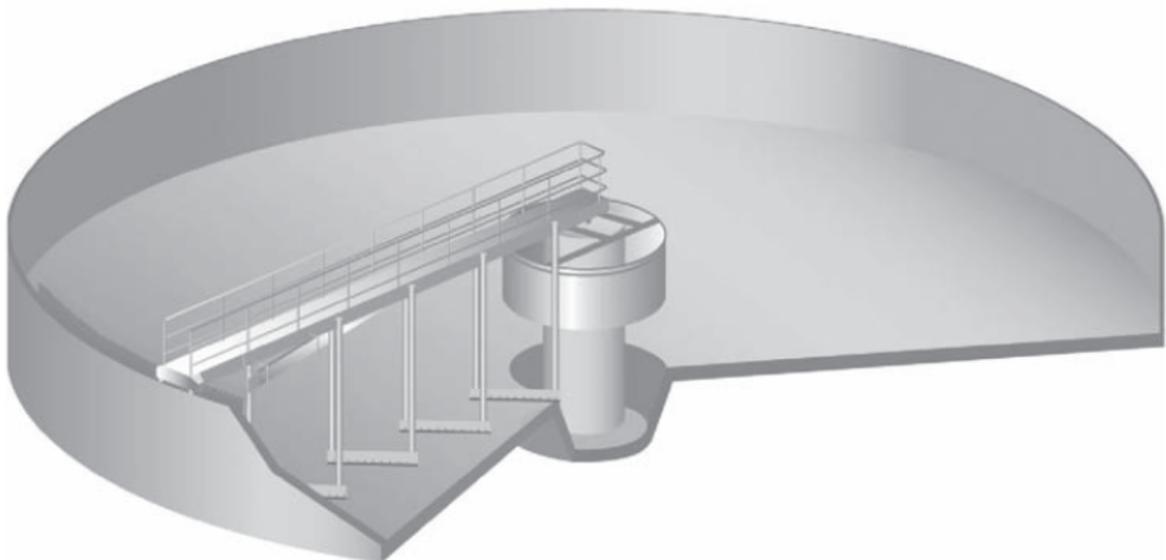


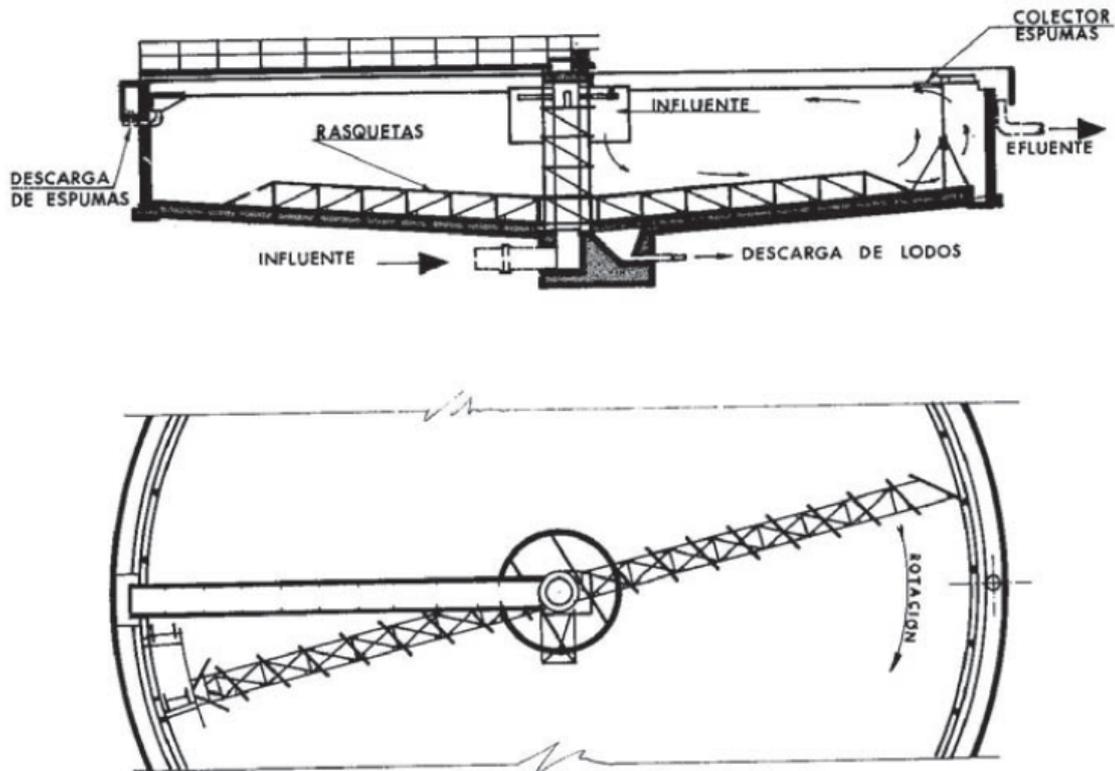
En ciertos equipos las rasquetas arrastradas por cadenas, son sustituidas por un mecanismo tipo puente, que se desplaza sobre vías a lo largo de los muros longitudinales del decantador, y del cual cuelga una rasqueta que en el desplazamiento de vuelta es levantada para no producir alteraciones.

La ventaja de los decantadores rectangulares, es su fácil acoplamiento, en el caso de precisar la construcción de varias unidades, siendo muy interesante en aquellos casos de escasez de terreno o bien de precio elevado.

4.2. Decantadores circulares

Los decantadores circulares consisten en una cuba normalmente construida en hormigón, en la cual la alimentación se realiza por la parte central, que dispone de una campana responsable de disipar la energía cinética con que entra el agua en el equipo y la distribución del flujo en todas las direcciones. La salida del agua clarificada se lleva a cabo a través de un vertedero periférico. Radialmente y pivotando sobre la columna central, se instala un puente giratorio, con el mecanismo de tracción sobre el muro exterior, sobre el cual se desplaza apoyado en ruedas. Colgando del mencionado puente radial, se encuentran las rasquetas de barrido de fondo que en su avance desplazan los fangos hasta una poceta central desde la que son purgados al exterior. Igualmente del puente cuelga una barreadera superficial que arrastra los posibles flotables y espumas hasta una tolva de purga.





El puente radial, así como todos los mecanismos que conlleva, se construyen en acero al carbono, protegidas sus superficies sumergidas mediante pintura epoxi bituminosas. En algunos casos se pueden ver equipos con las mencionadas partes sumergidas en acero al carbono galvanizado, o incluso inoxidable. La solera del fondo, tiene una pendiente hacia el centro para facilitar el desplazamiento de los fangos a la poceta central de fangos mencionada con anterioridad.

El vertedero periférico suele ser de aluminio, con forma de dientes de sierra y esta protegido por una placa deflectora que evita la fuga de los flotables.

Existen en el mercado equipos de purga continua mediante extracción de los lodos a lo largo de las rasquetas. Estos equipos sólo se utilizan en decantadores secundarios de diámetro elevado.

Igualmente existen equipos con tracción central, siendo de precio considerablemente superior a los de tracción periférica.

En general, respecto a la estructura de hormigón, las paredes del tanque circular actúan como anillos tensionados, lo que permite que el espesor de los muros sean sensiblemente inferior al de los rectangulares, lo que hace que este tipo en general sea más económico, aunque los decantadores

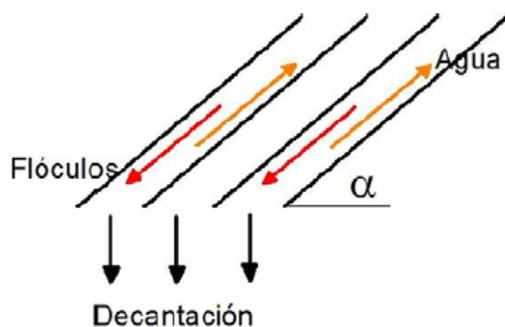
circulares suelen requerir más longitud de tuberías y se suelen incorporar estructuras aisladas para el reparto hidráulico del caudal entre todas las unidades.

4.3. Decantadores lamelares

Una consecuencia de que el diseño de la decantación es independiente de la altura del decantador (la altura del decantador realmente condiciona el rendimiento de las partículas floculantes) es la idea de incrementar la superficie de decantación superponiendo diferentes planos de decantación sobre la planta de un decantador rectangular. El inconveniente de esta aproximación es la gran dificultad para conseguir la eliminación correcta de los fangos.

Estos equipos generalmente consisten en una cuba de tipo rectangular equipada con unos paquetes de placas paralelas, separadas entre 2 y 5 cm, en función del suministrador, o bien un conjunto de tubos en forma de panel, formando un ángulo con la horizontal entre 45° y 60°.

En estos equipos se hace pasar el agua a través de los paquetes de placas paralelas en régimen de flujo laminar y a una velocidad tal, que los sólidos presentes en el agua decanten sobre las placas, deslizándose a continuación sobre la superficie de las mismas hasta alcanzar la zona de retirada de lodos.



Si se disminuye el ángulo de las placas con la horizontal se pueden llegar a producir deposiciones de sólidos sobre las placas por un mal deslizamiento del fango, y si se aumenta sobre el valor máximo indicado, la superficie total de decantación disminuye considerablemente y en consecuencia pierde una de sus grandes ventajas.

La velocidad ascensional real será:

$$V (m \cdot h) = \frac{Q \left(\frac{m^3}{h}\right)}{n \cdot S_L (m^2) \cdot \cos\theta}$$

Donde:

V es la velocidad ascensional o carga hidráulica en m·h

Q es el caudal tratado, en m³/h

N es el número de lamelas instaladas

SI es la superficie de cada lamela

Θ es el ángulo que forma la lamela con la horizontal

Entre las ventajas que presentan estos equipos se encuentran:

- La distancia a recorrer por los sólidos en su decantación, es la separación perpendicular entre las placas, considerablemente menor que en otros tipos de decantadores.
- La superficie de decantación de un separador de este tipo, es la suma de las proyecciones en el plano horizontal de las placas instaladas.

Lo indicado anteriormente, se traduce en equipos mucho más compactos y con unas necesidades de superficie considerablemente menores que en los decantadores circulares y rectangulares. Estos equipos pueden llegar a multiplicar la superficie efectiva de decantación entre 6 y 12 veces la de un decantador de la misma área.

Entre los problemas que presentan este tipo de unidades es su ensuciamiento, sobre todo con fangos de tipo biológico, lo que requiere su limpieza periódica, lo que aumenta su coste de operación. Igualmente estas deposiciones pueden dar lugar a la aparición de malos olores. Por ello, cuando se utilicen decantadores de lamelas como decantadores primarios, es necesario que el pretratamiento sea de alta eficacia, con tamaño de paso de partículas muy pequeños.

Debido a precisar menor espacio, en el caso de decantadores existentes, que se hayan quedado pequeños por un aumento en el caudal de tratamiento y en consecuencia una pérdida importante de rendimiento, una forma de solucionar el problema podría ser la instalación de lamelas en las unidades existentes.

Para unidades de pequeño tamaño, existen en el mercado equipos compactos, que incluyen el tanque de las lamelas construido en acero al carbono.

5. Bases de diseño

Los parámetros de diseño de la sedimentación de partículas floculantes son dos:

- Caudal máximo y medio de alimentación a la unidad, m^3 / h
- Carga de sólidos, $Kg / m^2 \cdot h$
- Concentración de sólidos en suspensión en el influente, mg / l
- Velocidad ascensional o carga superficial o carga hidráulica (CH) Es igual al caudal de fluido dividido por la superficie del depósito de sedimentación. Este es el único parámetro conceptual de la sedimentación de partículas discretas
- Tiempo de retención (TR). Volumen del depósito de sedimentación dividido por el caudal. A veces en lugar de este parámetro se toma la altura del depósito, al ser ambos parámetros interdependientes. Con estos parámetros se posibilita una mayor probabilidad de floculación entre las partículas que sedimentan.
- Carga sobre vertedero, $m^3 / m \cdot h$

Cada uno de estos parámetros hay que determinarlo experimentalmente, mediante ensayos de laboratorio o bien recurrir a datos bibliográficos, o experiencia del diseñador.

A su vez la velocidad de decantación, parámetro crítico en el diseño, va a venir condicionada entre otros por los siguientes factores:

- Densidad de la partícula.
- Tamaño de la partícula

- Temperatura del agua. A menor temperatura mayor viscosidad del agua y en consecuencia mayor fuerza de rozamiento en su caída. A temperaturas elevadas se pueden originar corrientes ascendentes dentro del decantador.
- Interacciones entre las partículas cuando su concentración es elevada.

En las aguas residuales de procedencia industrial, por tratarse de partículas de diferente tamaño, forma y composición que las de origen urbano, es preciso de llevar a cabo ensayos de laboratorio, con el fin de poder determinar los parámetros adecuados de diseño. Estos ensayos son especialmente necesarios cuando los sólidos en suspensión no actúan como partículas discretas en el proceso de decantación.

Los ensayos de laboratorio normalmente utilizados son en probeta y en columna.

En caso de plantas depuradoras urbanas, existe una gran experiencia, siendo los parámetros a utilizar perfectamente conocidos.

Para el diseño de los decantadores primarios los valores normalmente utilizados son los siguientes:

- Carga hidráulica 1,25-2,5 m³/m²*h
- Tiempo de retención: 1,5-3 h
- Carga sobre vertedero <20 m³/m(l)*h

En el diseño de los decantadores secundarios o biológicos, los parámetros normalmente utilizados son los siguientes:

- Carga hidráulica: 0,5- 1,40 m³/m²*h
- Tiempo de retención: 2,5-5,0 h
- Carga sobre vertedero: <10 m³/m(l)*h

Los valores de carga hidráulica y tiempo de retención van a depender del proceso biológico utilizado, siendo el intervalo indicado el correspondiente al conjunto de todos los mencionados procesos.

6. Dimensionado de los equipos

El dimensionado de estos equipos parte de la carga hidráulica a caudales medio y máximo determinados experimentalmente, de la bibliografía o bien de la experiencia del diseñador y de los tiempos de retención.

La superficie de un decantador será:

$$S_h(m^2) = \frac{Q(m^3/h)}{V(m/h)}$$

Siendo:

Sh: superficie, m²

Q: caudal, m³

V: velocidad ascensional del agua, o carga superficial, m / h

Esta determinación deberá realizarse para el caudal medio y máximo, con los parámetros de diseño indicados anteriormente y de acuerdo al proceso utilizado si se trata de aguas urbanas o con los obtenidos experimentalmente en los de origen industrial.

De las dos superficies determinadas, se adoptará la de mayor valor.

A partir de la superficie, se determina el diámetro, que es la forma habitual de definir los decantadores.

Una vez conocida la superficie, se definirá el número de equipos a utilizar, de acuerdo con las dimensiones máximas aconsejables para estos equipos.

El volumen del decantador vendrá dado por:

$$Vol(m^3) = Q(m^3/h) \times Tr(h)$$

Al igual que en el caso de la superficie, el volumen se determinará para el caudal medio y máximo, adoptándose el mayor de los volúmenes obtenidos.

La altura del equipo será:

$$h \text{ (m)} = \frac{\text{Vol (m}^3\text{)}}{S_h \text{ (m}^2\text{)}}$$

Donde:

h: altura del decantador, m

Vol: volumen, m³

Sh: superficie, m²

7. Normas generales de diseño

7.1. Decantadores rectangulares

La anchura máxima en estos equipos con arrastre por cadenas es de 6 m

- Longitud máxima utilizando cadenas metálicas entre 35-40 m
- Longitud máxima utilizando cadenas de material plástico entre 70-75 m
- Separación entre rasquetas 2,5-3,5 m
- La profundidad varia entre 2,5 y 3,5 m
- La pendiente de la solera debe estar alrededor del 1%
- Velocidad de las cadenas es de 0,5 a 1,0 m / min, debiendo ser lo más constante posible a lo largo de todo el recorrido con el fin de no producir turbulencias.

- En el caso de que en el cálculo, las diferentes dimensiones obtenidas fuesen elevadas, se utilizará más de una unidad.

7.2. Decantadores circulares

Los tanques circulares normalizados por la mayor parte de los fabricantes oscilan entre 5 y 60 m de diámetro, aunque en la práctica no es aconsejable equipos con diámetros superiores a 40-50 m

- La pendiente de la solera del fondo es de 1:10 a 1:12, siendo definida por el fabricante del equipo.
- El diámetro de la campana central está comprendido entre el 10 y el 15% del diámetro del decantador.
- La altura de la campana central varía entre el 30 y el 60% de la altura del decantador.
- Velocidad periférica máxima de las rasquetas en decantadores primarios se encuentra entre 100-120 m / h.
- La altura útil de estos equipos varía entre 2,5 y 4,0 m.
- La pendiente de la solera debe estar entre el 2% y el 8%.
- En el caso de que en el cálculo, las dimensiones obtenidas fuesen elevadas, se utilizarán unidades múltiples.

Aunque no es previsible, a partir de la experiencia, conocer la reducción de DBO que conseguirá un decantador primario, un valor normalmente alcanzado para aguas residuales urbanas de tipo doméstico es del 30%. Este es el valor que suele adoptarse en el diseño de una estación depuradora para conocer la contaminación del efluente de la decantación primaria.

El rendimiento en la eliminación de SS suele considerarse de un 60% - 65% para depuradoras urbanas diseñadas según los parámetros mencionados anteriormente.

8. Residuos generados

La cantidad y concentración de los fangos purgados de un sistema de decantación va a depender, entre otros de los siguientes factores:

- Composición de los sólidos en suspensión presentes en el agua residual.
- Densidad de los sólidos.
- Tamaño de las partículas a eliminar.
- Cantidad de sólidos en suspensión presentes.
- Temperatura del agua.
- Tipo y diseño de los equipos utilizados.
- Parámetros de diseño utilizados.

En un agua residual de tipo urbano, la concentración de los fangos obtenidos en los decantadores primarios varia entre el 1,5 y el 2,5%, siendo dichas concentraciones considerablemente menores en los decantadores secundarios.

Conocidos los sólidos en suspensión en la alimentación, el rendimiento de eliminación y la concentración de los fangos, se puede determinar el caudal de purga.

La cantidad de fangos a extraer de la decantación primaria viene dada por la cantidad de sólidos en suspensión eliminados del proceso. Esto viene dado por la siguiente expresión:

$$K = Q \cdot SS \cdot R \cdot 10^{-5}$$

Donde:

K es la cantidad de fangos en suspensión en el fango primario (kg/d)

Q =Caudal de agua (m³/d)

SS= Concentración media de sólidos en suspensión del agua residual afluente (mg/l)

R= Rendimiento medio de reducción de sólidos en suspensión de la decantación primaria (%)

Se puede considerar una densidad de fango igual a la del agua para estos cálculos.

El fango primario generalmente tiene un color “marrón sucio” y desprende mal olor. Tiene una gran patogeneidad y es putrescible, debido a la materia orgánica que contiene. Es por esto que generalmente es necesaria su estabilización. Deshidrata bien mecánicamente, aunque no drena bien en eras de secado.

9. Bibliografía

- Degremont. Water Treatment Handbook
- Sáinz Sastre. "Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales". EOI
- Water Environment Federation. "Design of municipal wastewater treatment plants MOP8" 5th Edition .MGrav Hill
- Tejero Monzón/Temprano González/Lobo García. "Tratamientos primarios y físico químicos." Curso Tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras". 2011. CEDEX