

FT-PRI-004

**FICHAS TÉCNICAS
DE ETAPAS DE PROCESO DE
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DE LA INDUSTRIA TEXTIL**

DECANTACIÓN LAMELAR

SERIE: TRATAMIENTOS PRIMARIOS

TÍTULO	DECANTACIÓN LAMELAR (FT-PRI-004)
Fecha de elaboración	Junio de 2013
Revisión vigente	

DECANTACIÓN LAMELAR (FT-PRI-004)

Fecha	Junio 2014		
Autores	Joaquín Suárez López Alfredo Jácome Burgos Pablo Ures Rodríguez		
Revisado			
Modificaciones	Fecha	Modificado por:	Objeto de la modificación:

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN**2.- DECANTADORES LAMELARES Y TUBULARES****3.- DISEÑO****3.1.- Parámetros de diseño****3.2.- Criterios de diseño****4.- PRODUCCIÓN DE LODOS****5.- RENDIMIENTO****6.- CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARTICULARES****7.- ESPECIFICACIONES EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL****8.- PARÁMETROS Y ESTRATEGIAS DE CONTROL****9.- PROBLEMAS DE EXPLOTACIÓN****BIBLIOGRAFÍA****REFERENCIAS DE TECNOLOGÍA****ANEXO 1.- COMPARATIVA DE CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO****ANEXO 2.- ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES NECESARIAS****ANEXO 3.- DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE UNIDADES DE PROCESO**



1.- INTRODUCCIÓN

El rendimiento de los decantadores con sedimentación floculenta es, fundamentalmente, dependiente de la velocidad ascensional. El calado y el tiempo de retención hidráulica son considerados, en general, como factores de segundo orden, según los modelos más habituales de análisis de los procesos de sedimentación.

Una estrategia para aumentar el rendimiento de los decantadores es aumentar la superficie horizontal, que implica, de forma directa para un caudal determinado, la disminución de la velocidad ascensional. Este aumento se puede realizar de diferentes formas. Una de las formas es colocar diferentes pisos, con lo que se consigue dividir el caudal que debe soportar cada superficie horizontal.

$$V_{ASC} = \frac{Q}{n \cdot S_h} < V_o \cdot f$$

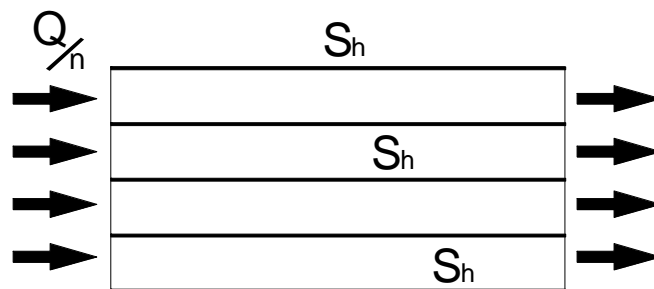
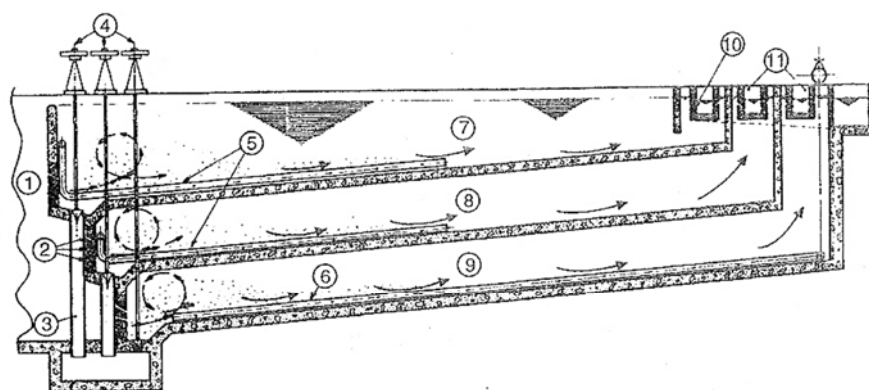


Figura 1.- Análisis del efecto de introducción de pisos o láminas horizontales en un decantador.

Siendo n el número de falsos fondos y S_h es la superficie horizontal real. El factor f no crece de la misma forma que n . " f " puede oscilar entre 0.5 y 1, normalmente está entre 0.9 y 1.

Mediante la superposición de pisos se consigue reducir la superficie de ocupación y los costes de instalación. El volumen de obra con decantadores de pisos se puede reducir a la mitad. Hay diferentes experiencias en este sentido que han construido decantadores entre 3 y 5 pisos. Esta disposición genera problemas a la hora de extraer los fangos. Hay que adoptar sistemas especiales.



- | | |
|---|--|
| ① Tanque de floculación. | ⑥ Sistema de limpieza o lavado de agua WATERINSE (opcional). |
| ② Entradas SPLIT-ROLL. | ⑦ Compartimento clarificador superior. |
| ③ Drenaje de lodos del solado superior. | ⑧ Compartimento clarificador intermedio. |
| ④ Válvula superior manualmente controlada. | ⑨ Compartimento clarificador inferior. |
| ⑤ Sistema de succión de lodos COMBCET (opcional). | ⑩ Colectores de efluente ("labios de pato"). |
| | ⑪ Canales de colección de agua clarificada. |

Figura 2.- Decantador "multipiso" con flujo paralelo en tres niveles.



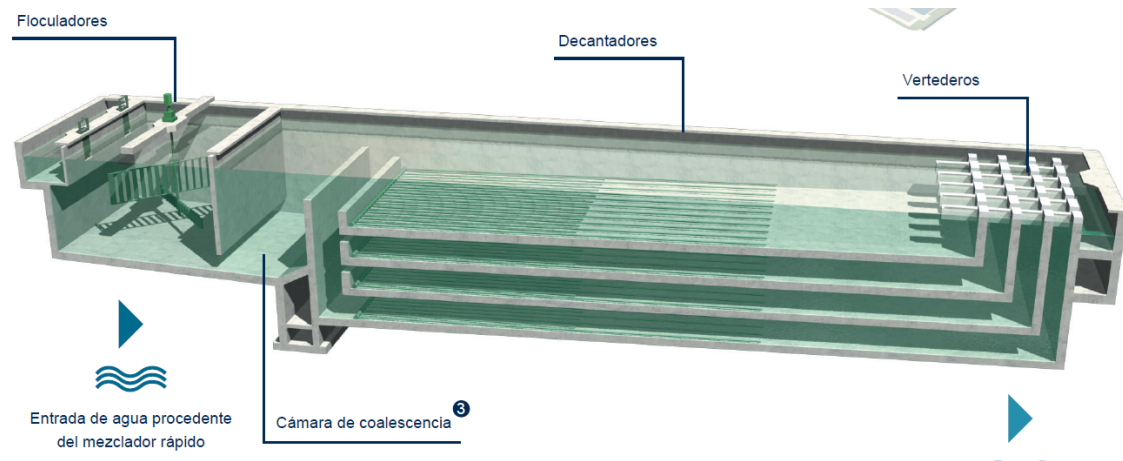


Figura 3.- Decantador “multipiso” con flujo paralelo en tres niveles.

Una alternativa para facilitar la extracción del fango sería inclinar los pisos del decantador con el fin de obligar al fango a descender y acumularse en una sola superficie, colocando un sólo sistema de extracción. Este es el concepto básico de los decantadores laminares o de lamelas.

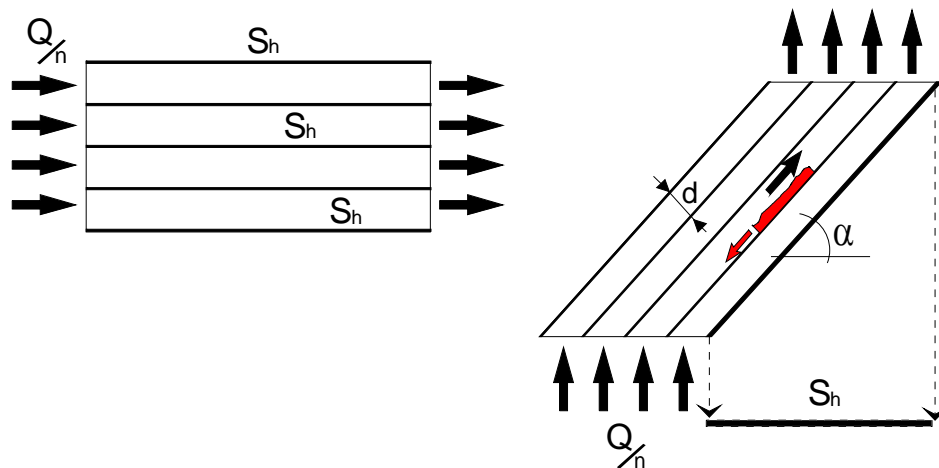


Figura 4.- Diagrama del funcionamiento básico de un decantador laminar.

Para conseguir la autolimpieza las láminas se inclinan entre 50 y 60 grados. La separación entre las lamelas suele estar, normalmente, en tratamiento de aguas potables entre 2.5 y 5 centímetros, y del orden de 5 a 10 cm en aguas residuales.

La superficie horizontal efectiva es la proyección horizontal de cada placa por el número de placas. Este valor de superficie total proyectada es la que debe intervenir en el cálculo de la velocidad ascensional. Un factor importante a tener en cuenta en el diseño de este tipo de decantadores es la limitación de la velocidad de arrastre.

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 convencionales.

A los decantadores lamelares o tubulares se les denomina también “sedimentadores de alta tasa”.

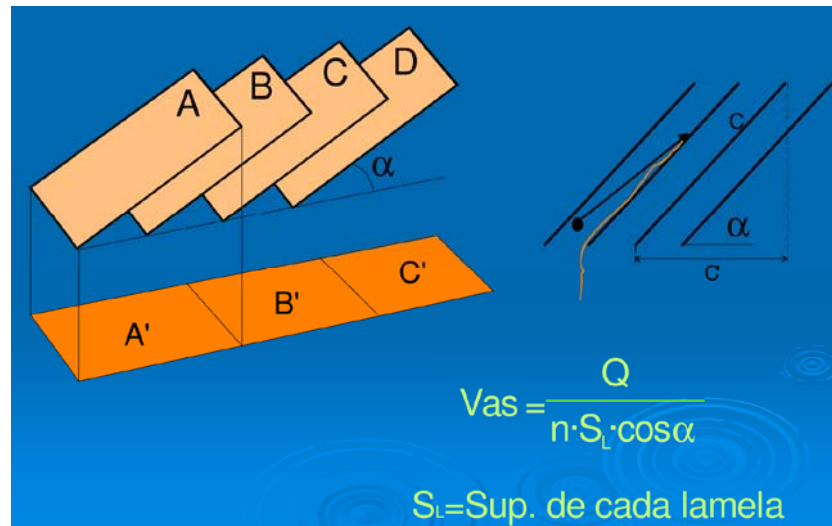


Figura 5.- Croquis con los conceptos básicos de un decantador lamelar.

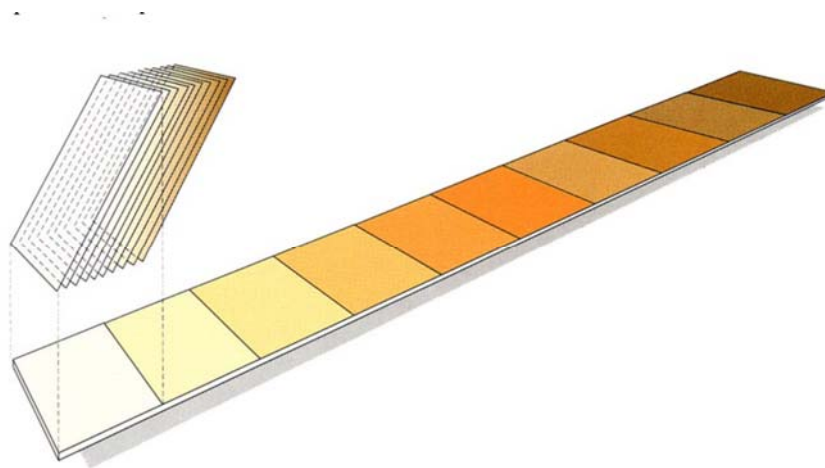


Figura 6.- Análisis de la superficie funcional real en un decantador lamelar.

2.- DECANTADORES LAMELARES Y TUBULARES

La introducción de láminas (lamelas) paralelas e inclinadas en el cuerpo de un decantador da lugar los llamados decantadores lamelares o laminares. Una variante de los mismos, en los que las "láminas" se conectan, son los decantadores tubulares; si bien los fundamentos de su funcionamiento son los mismos esta configuración en tubos permite trabajar en módulos con mayor rigidez estructural, a la vez que menor peso.

Existen dos tipologías básicas en función del sentido del flujo: si el agua fluye en la misma dirección que el fango se denominan co-corriente y si fluye en dirección contraria se denominan de contra-corriente.

- **Sistemas co-corriente:** se facilita enormemente la eliminación del fango, pero añade el problema de la posible creación de cortocircuitos de agua, no pasando el agua entre las placas. Hay que colocar deflectores y placas que obliguen al agua a pasar entre las placas. Se puede aumentar la velocidad de circulación del agua entre las placas, pero existe el problema de la resuspensión de fangos ya sedimentados.
- **Sistemas contra-corriente:** La recogida del agua clarificada se produce en aquella zona en que la concentración de fangos es menor, resultando un agua mejor clarificada. Disminuye el riesgo de arrastre de partículas. El agua en su ascenso tiende a ir pegada a la placa superior, mientras los fangos descienden por la inferior.

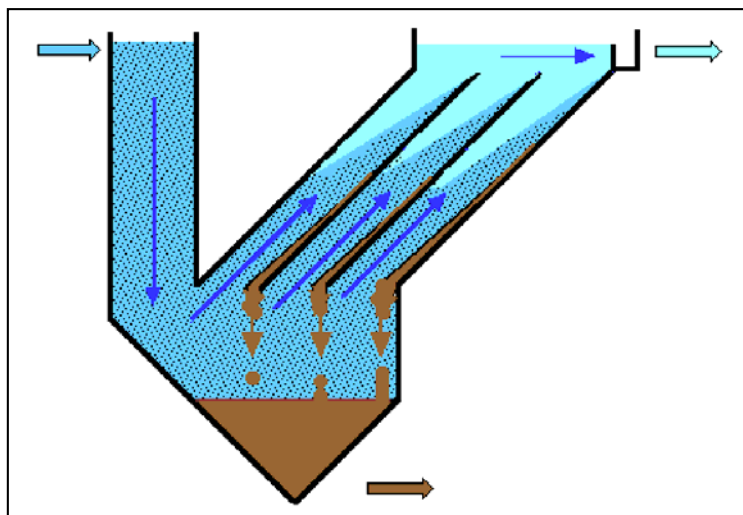


Figura 7.- Configuración básica de flujos en un decantador lamelar (contracorriente).

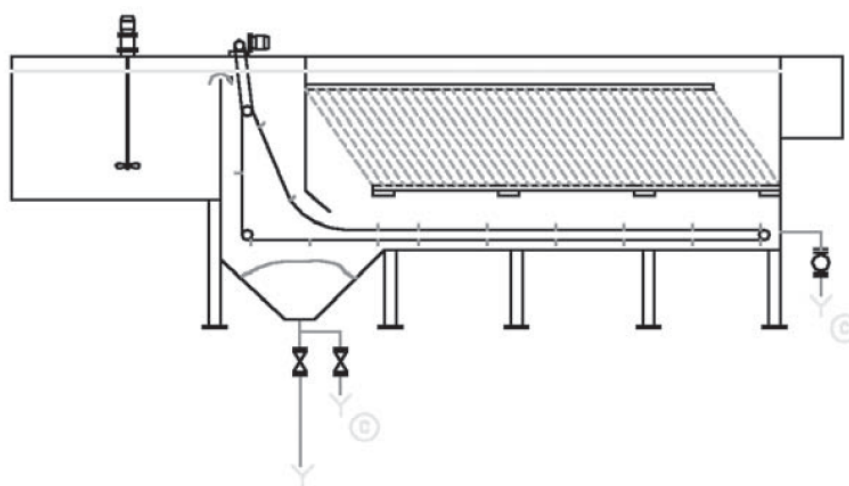


Figura 8.- Introducción de un módulo de lamelas en un decantador de planta rectangular.



Figura 9.- Vista de la parte superior de las lamelas en un decantador de planta rectangular construido en hormigón, sin agua.

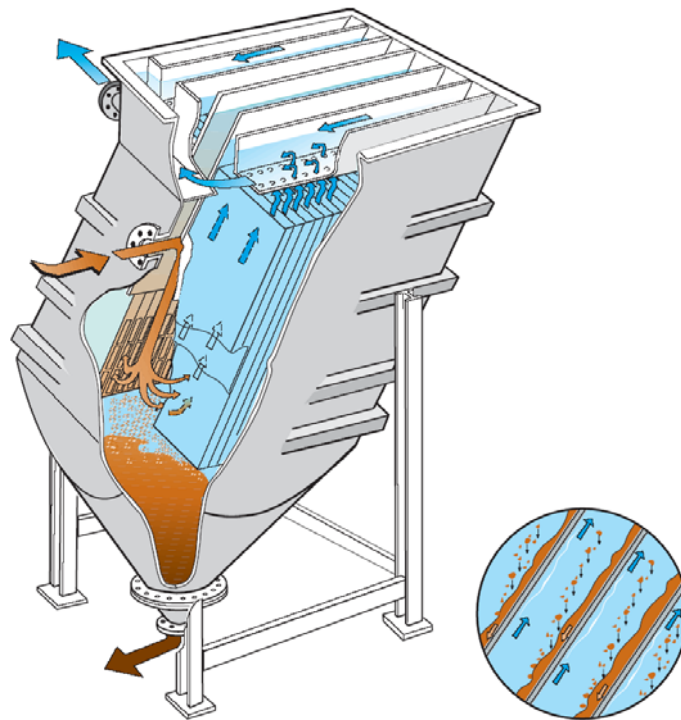


Figura 10.- Decantador lamelar construido en metal o fibra de vidrio con configuración de flujo "contracorriente".

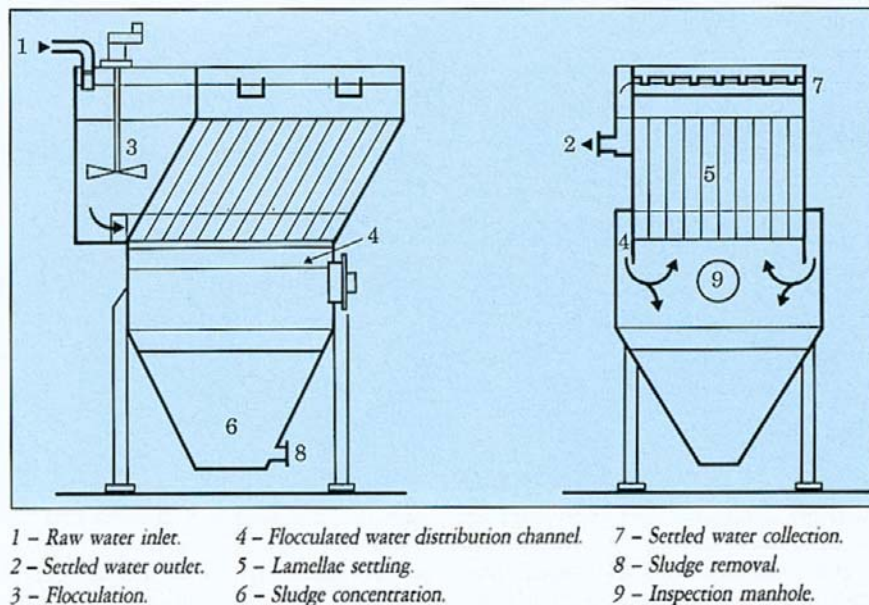


Figura 11.- Decantador lamelar tipo SEDIPAC.

Una variante de los decantadores laminares son los decantadores tubulares. La inclinación sigue estando entre 45° y 60°. Este tipo de decantadores tienen rendimientos de eliminación de partículas entorno al 10% superiores a los decantadores laminares contra-corriente. Como inconvenientes se pueden citar la necesidad de longitudes mayores para alcanzar un régimen estable o de flujo laminar y que las pérdidas de carga son mayores al haber más superficies de rozamiento. La sedimentación y deslizamiento del fango sobre la pared del tubo provoca una reducción del área del mismo que conlleva una variación del flujo de agua que tiene como resultado la bajada de rendimientos.

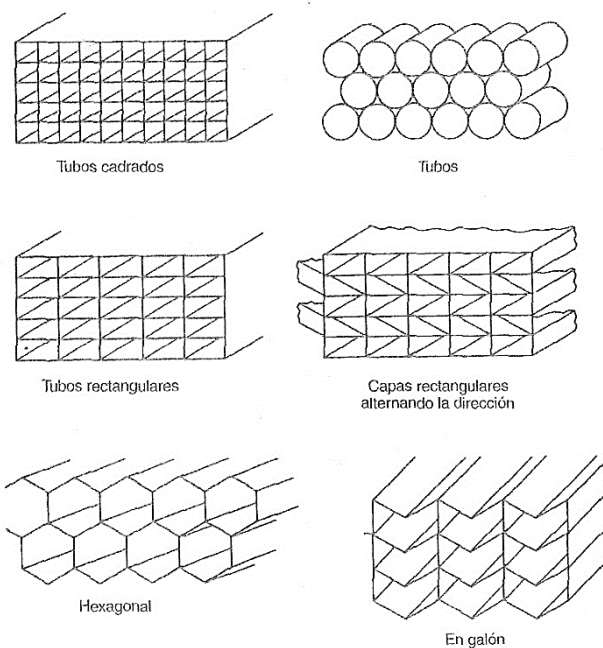


Figura 12.- Tipología de módulos para decantadores tubulares.



Figura 13.- Vista de la parte superior de los módulos de tubos en un decantador de planta rectangular construido en hormigón, sin agua.



Figura 14.- Ejemplo de módulos plásticos de decantadores tubulares.

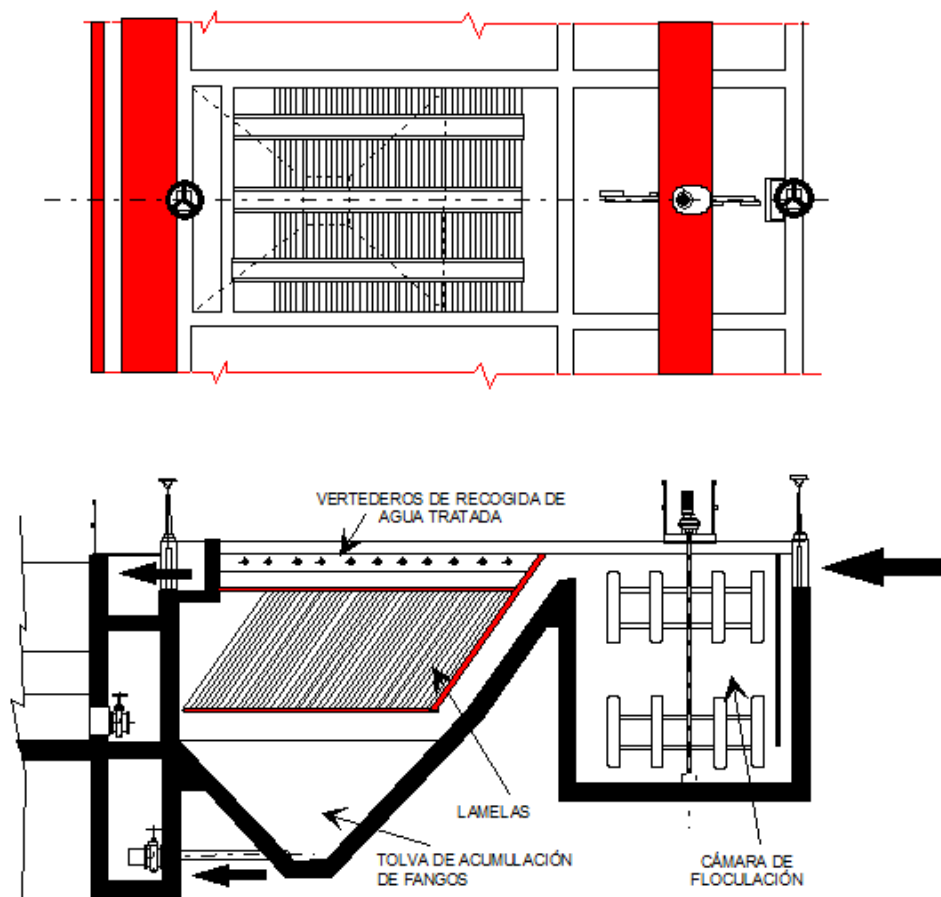


Figura 15.- Croquis de un decantador lamelar con un módulo de floculación previo.



Figura 16.- Disposición de los módulo de tubos en el interior de un decantador.



Figura 17.- Disposición de los módulo de tubos en el interior de un decantador y vista del sistema de rasquetas de acumulación de fango decantado.



Figura 18.- Vista de la parte superior de un decantador tubular y canaletas de recogida de agua decantada.



Figura 19.- Vista de la parte inferior de un decantador tubular y apoyos de los módulos.

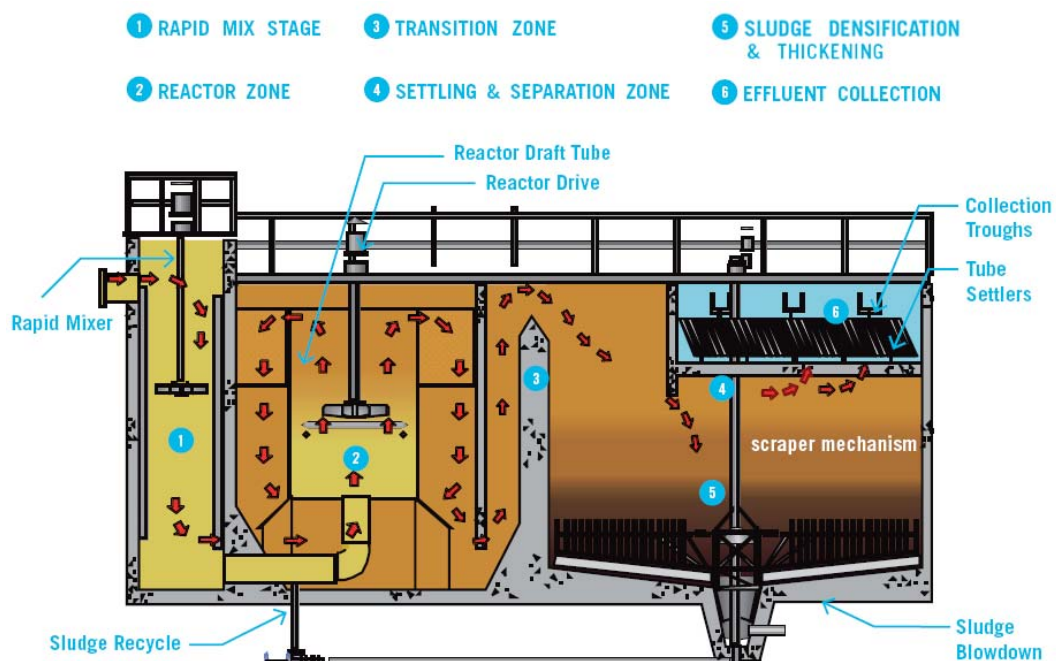


Figura 20.-Croquis de los flujos del sistema DENSADEG (Degremont).

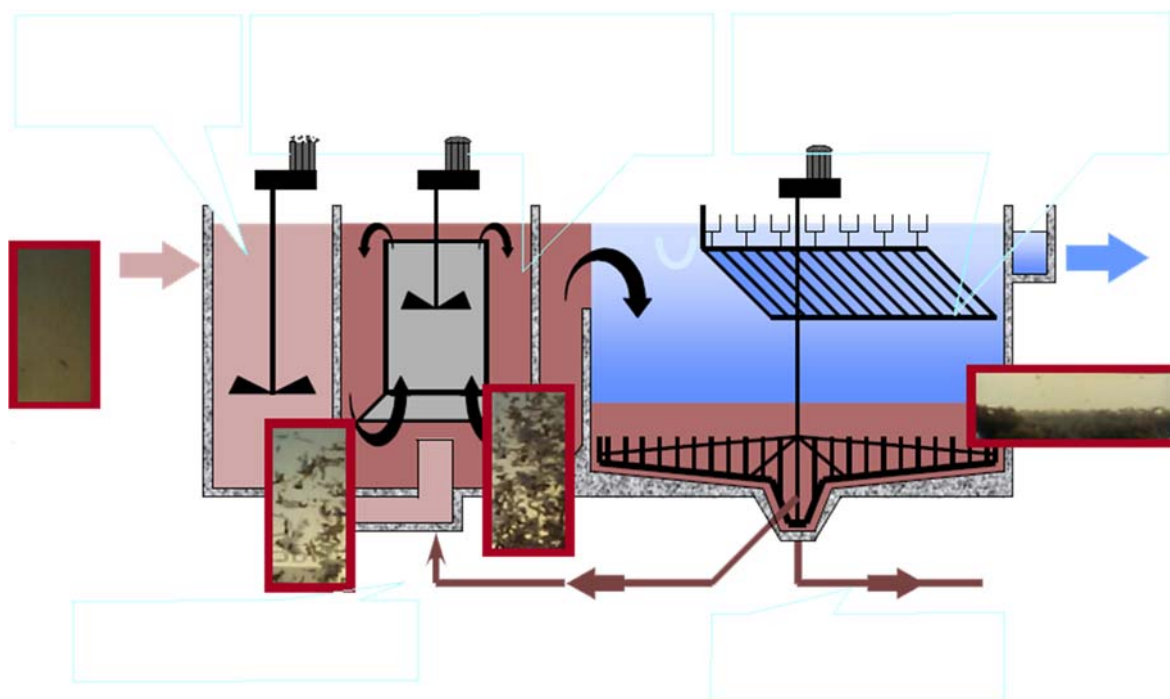


Figura 21.- Características de los flóculos en cada etapa del DENSADEG (Degremont).

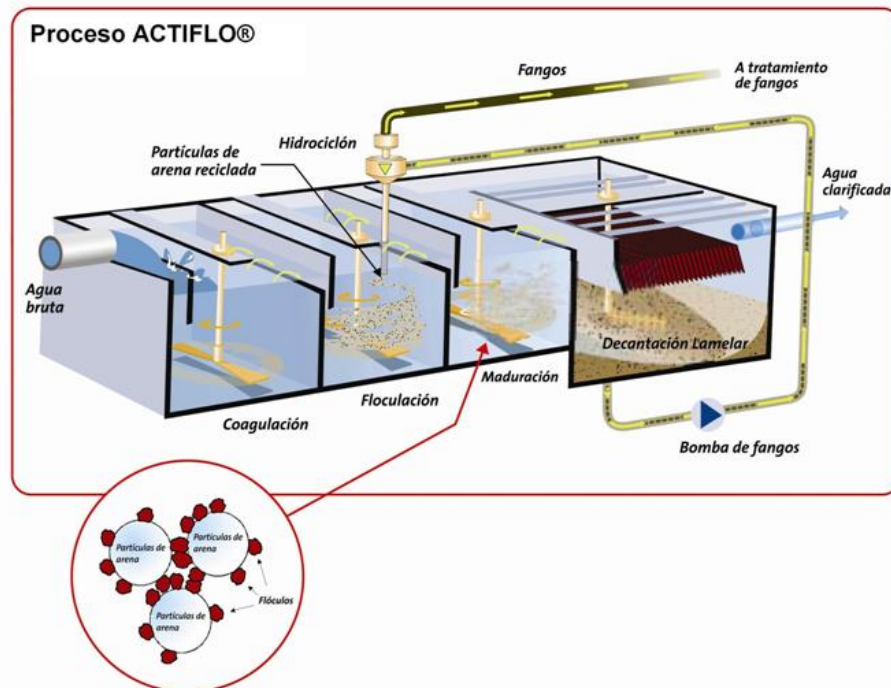


Figura 22- Croquis de los flujos del ACTIFLO y elementos que configuran el sistema.

The Actiflo® process

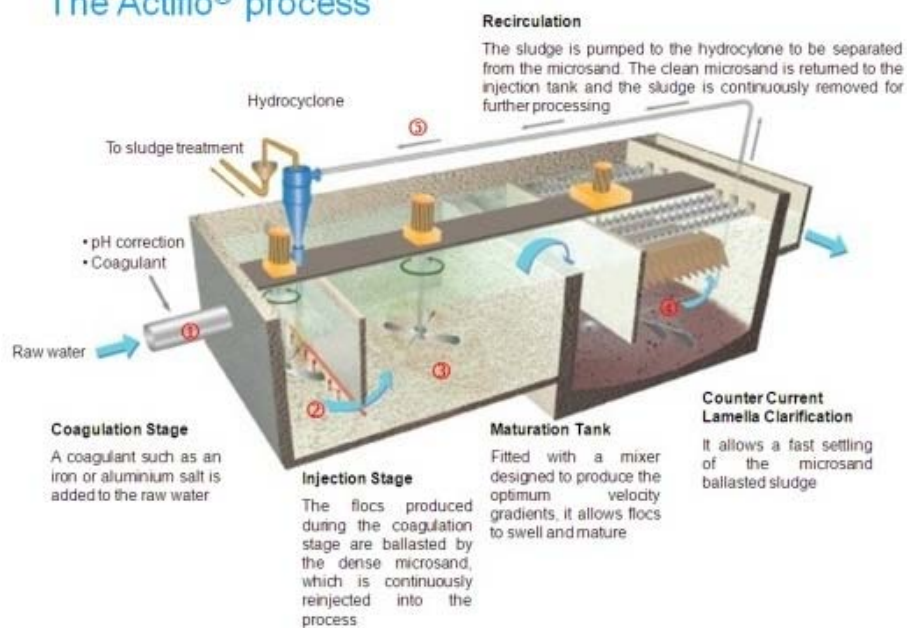


Figura 23- Croquis de los flujos del ACTIFLO y elementos que configuran el sistema.

3.- DISEÑO

Requerimientos básicos de un decantador laminar o tubular:

- Tienen que existir condiciones de flujo laminar. La partícula o flóculo que sedimenta lo debe hacer sin las interferencias que le causarían las turbulencias de un flujo no laminar.
- El tiempo de permanencia debe ser suficiente para que una partícula pueda recorrer la distancia vertical entre láminas.
- La velocidad del fluido en las láminas no debe exceder de un valor crítico pues produciría el arrastre del fango depositado. Además de esto, el volumen existente entre dos placas debe permitir la acumulación de las partículas sedimentadas de tal forma que no se produzca un cambio de régimen del fluido debido a la variación de la sección.

3.1.- Parámetros de diseño

Los parámetros más importantes para el dimensionamiento de la decantación lamelar son:

- **Velocidad del flujo en el interior del tubo o ente lamelas:** Se trata de la velocidad determinada por la configuración geométrica y tendrá una dirección similar a la inclinación de los tubos o lamelas.
- **Velocidad vertical crítica en el interior del tubo o entre lamelas.** Se obtiene al proyectar la velocidad del agua en el interior de la lamela sobre la vertical. Deberá ser menor que la velocidad de caída de los flóculos o partículas a eliminar.
- **Velocidad ascensional o carga hidráulica superficial funcional o de diseño:** se obtiene de dividir el caudal efluente entre la superficie horizontal de decantación total, obtenida a partir de la suma de todas las proyecciones de superficies de los tubos o lamelas.

$$V_{ASC} = \frac{Q}{A}$$

Donde:

V_{ASC} = velocidad ascensional (m/h)

Q = caudal efluente primario (m³/h)

A = superficie horizontal de decantación (superficie total proyectada) (m²)

- **Velocidad ascensional o carga hidráulica superficial global:** se obtiene de dividir el caudal efluente entre la superficie horizontal que ocupa el decantador (no incluye las proyecciones de los tubos o lamelas).

$$V_{ASC} = \frac{Q}{A}$$

Donde:

V_{ASC} = velocidad ascensional (m/h)

Q = caudal efluente primario (m³/h)

A = superficie horizontal de ocupación del decantador (m²)

- **Tiempo de retención hidráulica:** relacionado con el calado. Una mayor profundidad aumenta la probabilidad de choque (floculación) entre las partículas que sedimentan, aumentando su velocidad de caída:

$$TRH = \frac{V}{Q} = \frac{A h}{Q}$$

Donde:

TRH = tiempo de retención hidráulica (horas)

h = calado bajo vertedero (m)

V = volumen útil de decantación (m³)



- **Carga hidráulica sobre vertedero:** corresponde al caudal efluente por metro lineal de longitud del vertedero de salida. Se limita la velocidad de salida del efluente primario para evitar el posible arrastre de lodos:

$$CH_V = \frac{Q}{L_V}$$

Donde:

CH_V = carga hidráulica sobre vertedero ($m^3/h/m$)

L_V = longitud de vertedero (m)

- **Número de Reynolds:** Sirve para caracterizar el flujo en el interior de los tubos o lamelas. Debe mantenerse flujo laminar.

3.2.- Criterios de diseño

Tabla 1.- Resumen de valores de diseño de la decantación lamelar/tubular

Parámetro	Valores
Velocidad del flujo confinado (m/d)	≤ 15
NRe – Número de Reynolds	≤ 200
V_{ASC} - Velocidad ascensional funcional (m/h) (con proyecciones)	$\leq 1-2$ (1,2)
V_{ASC} - Velocidad ascensional global (m/d) (sin proyecciones)	≤ 6
TRH en zona confinada (minutos)	$\geq 6-10$
CH_V – carga hidráulica sobre vertedero ($m^3/h.m$)	≤ 10

Otros criterios de diseño:

AWWA (2005)

- Distancia de parte superior de tubos a canales de recogida de 0,6 a 1 metro.
- Separación entre canales de recogida no mayor de 1,5 metros.

Kawamura (2000); citado por Montgomery Watson Harza, (2005)

- Resuspensión de fango de fondo para velocidades mayores de 18 m/h (0,3 m/min)
- En regiones frías para decantadores lamelares la máxima carga aceptable sería de 150 m/d.
- Tiempo de retención hidráulica en decantadores tubulares normalmente menor de 20 minutos.

Arboleda, J. (2000); Teoría y práctica de la purificación del agua. McGraw - Hill. Tercera edición. (Colombia).

- Comenta página 271 que los decantadores laminares se han venido diseñando en América Latina con 120 a 185 m/d, con eficiencias de eliminación superiores al 90%.
- Cuando se usen canales paralelos de recogida la distancia entre ellos deben estar separados 2 veces la inmersión de los tubos. Mejor 1,5 veces.
- Fórmula de Camp para analizar el arrastre de fango en el interior de los tubos.
- $V_a = 125 \cdot \cos \theta \sqrt{(S_s - 1) \cdot d}$
- En donde S_s es el peso específico de la partícula y d el diámetro de la misma.
- Flóculos entre 0,2 cm y 0,01 cm de diámetro y peso específico de 1,01 las velocidades de arrastre son 2,8 y 0,625 cm/s.

Gutiérrez, A. (¿?)

- Mínima distancia de inmersión de lamelas 0,4 metros.

4.- PRODUCCIÓN DE LODOS

La cantidad de lodos a purgar de la decantación primaria (lodos primarios) viene dada por la siguiente expresión:

$$P_{f1^o} = Q \times SS \times R \times 10^{-5}$$



Donde:

P_{f1^o} = producción media diaria de lodos primarios (kg SS/día)

Q = caudal medio (m³/d)

SS = concentración media de SS del agua residual afluyente (mg/L)

R = reducción de SS en la decantación primaria (%)

Si la densidad de lodo se supone igual a la del agua, el volumen de lodos primarios se puede estimar mediante:

$$V_{f,1^o} = \frac{P_{f1^o}}{10C}$$

Donde:

$V_{f,1^o}$ = caudal medio de lodos primarios (m³/día)

C = concentración del lodo primario (%)

La concentración del fango primario suele estar comprendida entre 3 y 5 %.

El fango primario generalmente desprende mal olor, contiene una gran cantidad de microorganismos y es putrescible, debido a la materia orgánica. Por esto requiere estabilización. No drena bien en eras de secado, pero se deshidrata bien mecánicamente.

5.- RENDIMIENTO

Con un estudio y el buen dimensionado de las lamelas se puede llegar a multiplicar por 4 el rendimiento del decantador.

6.- CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARTICULARES

En el diseño de los decantadores se deberá definir los siguientes aspectos:

- Los decantadores deben estar equipados con sistemas de recogida superficial de espumas y flotantes, y puntos de evacuación de los mismos, que en ningún caso deberán incorporarse a la línea de agua, en el caso en que se espere la presencia de los mismos.
- Los carros móviles de arrastre deberán ser fácilmente accesibles y tendrán un sistema de paro automático frente a obstáculos.
- Se prestará especial atención al trazado de las tuberías de fangos, evitando distancias innecesarias, codos inútiles, etc., e incluirá el número de bridas necesario para facilitar el mantenimiento de la instalación. Se deberá cuidar el acceso a toda la línea de fangos, siendo deseable evitar las tuberías enterradas. Asimismo, incluirá conexiones para inyección de agua a presión en los puntos que, *a priori*, puedan considerarse susceptibles de atascamiento.
- Se contemplará la instalación de un by-pass del proceso de decantación primaria.
- Se contemplará la instalación de sistemas de aislamiento de unidades en paralelo, si existiese más de una.
- Cuando se trate de unidades en paralelo se instalará una arqueta de reparto cuyo dimensionamiento hidráulico deberá ser muy cuidado para conseguir un buen equi-reparto de los caudales de diseño.

7.- ESPECIFICACIONES EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL

- Atención con las altas temperaturas y los plásticos y su deformabilidad.
- Atención a la agresividad a los materiales por las altas temperaturas y los pH.
- Atención a la flotación de los módulos.



8.- PARÁMETROS Y ESTRATEGIAS DE CONTROL

Parámetros para el control de la eficiencia del proceso (MAGRAMA, 2012):

- Concentración de sólidos en afluente y en efluente.
- Turbidez en efluente.
- Concentración del fango extraídos/purgado.
- Velocidad de avance de rasquetas.
- Generación de malos olores.
- Acumulación excesiva de flotantes en el decantador.
- Anomalías en la obra civil, que pudieran dar lugar a infiltraciones.
- Obturación de los tubos o del espacio entre lamelas.
- Deformación de los módulos de lamelas o tubos.
- Nivelado de las vertederos de recogida de agua clarificada.

Los fangos y flotantes que se van acumulando en los decantadores primarios precisan ser extraídos de forma periódica. En el caso de que los lodos no se extraigan con la periodicidad necesaria, comenzarán a instaurarse condiciones de anaerobiosis, con la consiguiente generación de gases, que arrastrarán parte de los lodos a la superficie del decantador, influyendo muy negativamente en su rendimiento.

Periódicamente se comprobará si la frecuencia de extracción de los fangos en exceso es la correcta, ajustando la frecuencia en caso necesario. Fangos extraídos con bajas concentraciones serán síntoma de que la extracción se realiza con una frecuencia superior necesaria. Por el contrario, la aparición de fermentaciones (burbujeo), ascenso de los fangos y generación de olores desagradables, serán indicios de que los fangos permanecen en el fondo del decantador más tiempo del recomendado.

Se debe limpiar, mediante cepillado, de la chapa deflectora y vertederos de salida del decantador, donde con el tiempo se va fijando biomasa.

Actividades de mantenimiento y control (MAGRAMA, 2012):

- Comprobación del funcionamiento del puente mediante arranque y parada accionando el interruptor de seguridad y maniobra.
- Inspección del funcionamiento electromecánico del motorreductor central (caso de planta circular).
- Nivel de engrase.
- Apreciación de ruidos, vibraciones y calentamientos de motores o bombas.
- Inspección de posible atascamiento de espacio entre lamelas o de los tubos.
- Control de la operación del decantador primario
 - Velocidad ascensional con la que opera el decantador (m/h), calculada en función de los caudales medios (m³/h) y máximos (m³/h), de las aguas a tratar y de la superficie del decantador (m²).
 - Tiempos de retención hidráulica con los que opera el decantador (h), calculado en función de los caudales medios (m³/h) y máximos (m³/h), de las aguas a tratar y del volumen útil del decantador (m³).
 - Carga sobre vertedero (m³/h.m): calculada en función del caudal máximo (m³/h) y de la longitud (m) del vertedero.

9.- PROBLEMAS DE EXPLOTACIÓN

La pérdida de calidad en los efluentes, principalmente por la presencia en los mismos de materia en suspensión, puede ser debida a sobrecargas hidráulicas o al hecho de que no se proceda con la frecuencia recomendada a la purga de los fangos en exceso. En el primero de los casos será necesario limitar los caudales afluentes y el segundo proceder a la regulación de la temporización con la que se procede a la extracción de los fangos.

La tabla siguiente muestra las principales anomalías que suelen darse en las instalaciones de decantación primaria, junto a su posible causa y a la solución recomendada (MAGRAMA, 2012).



Tabla 2.- Principales anomalías en decantadores primarios, causas y soluciones.

Anomalía	Causa	Solución
Deficiente calidad de los efluentes por las elevadas concentraciones de materia en suspensión.	Sobrecarga hidráulica Baja periodicidad de purga de fangos. Acumulación excesiva de flotantes	Limitar los caudales de aguas residuales. Aumentar la frecuencia de la purga de fangos. Aumentar la frecuencia de la extracción de flotantes.
Fangos con muy bajas concentraciones.	Extracción de fangos demasiado frecuente	Disminuir la frecuencia de purga de fangos.
Burbujeo, malos olores y fango flotante.	Baja periodicidad de purga de fangos.	Aumentar la frecuencia de purga de fangos.
Elevada concentración de arenas en los fangos purgados.	Mal funcionamiento de la etapa de desarenado.	Proceder a una extracción más frecuente de los fangos.

Causas de las obturaciones de los módulos de lamelares (*Lamelares TecnoConverting*):

En las paredes de las lamelas termo-plásticas la adherencia de algas, lodos, etc., son comunes, a veces debido a varios motivos.

- Altas concentraciones de sólidos en suspensión.
- Reactivos químicos como floculantes, coagulantes...
- Vertidos incontrolados (hidrocarburos, grasas...)
- Existencia de flujos preferenciales en los lamelares.
- Mal dimensionamiento del decantador.
- Incorrecto mantenimiento del lamelar.

En este manual se explica el procedimiento de limpieza durante las paradas técnicas para mejorar el rendimiento de los lamelares y permitir una mayor longevidad de la instalación

BIBLIOGRAFÍA

CEDEX (2010); "Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras"; 2 tomos; Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas; Gabinete de Formación y Documentación: Madrid.

CRITES R. y TCHOBANOGLIOUS G. (2000). "Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones". McGraw-Hill Interamericana, S.A.: Bogotá (Colombia).

DAVIS, M. L. (2010). "Water and wastewater engineering. Design, principles and practice". McGraw-Hill: New York (USA).

DEGRÉMONT (1979). "Manual técnico del agua". Cuarta edición española. Grafo, S. A. Bilbao.

GLUMRB (2004) "Recommended standards for wastewater facilities". Policies for the design, review, and approval of plans and specifications. For wastewater collection and treatment facilities. A report of the wastewater committee of the Great Lakes – Upper Mississippi River Board. Published by: Heath Research, Inc., Health Education Services Division, Albany, N.Y. (USA).

HERNÁNDEZ A. (1998). "Depuración de aguas residuales". Paraninfo, S. A. Madrid (España).

HERNÁNDEZ MUÑOZ A., HERNÁNDEZ LEHMAN A. y GALÁN P. (2004). "Manual de depuración Uralita. Sistemas para depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20.000 habitantes". Paraninfo S. A.: Madrid (España).

LIN S. D. (2007). "Water and wastewater calculations manual". McGraw-Hill Companies Inc.: New York (USA).

METCALF & EDDY (1995). "Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización". McGraw-Hill – Interamericana, Madrid (España).



METCALF & EDDY (2003). "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", 4th ed., McGraw-Hill, Boston (USA).

MOPU (1983). "Anteproyecto de modelo de pliego de bases técnicas para concursos de proyecto y ejecución de obras de estaciones depuradoras de aguas residuales. Centro de Estudios de la Dirección General de Obras Hidráulicas y Grupo de Tratamiento de Aguas de SERCOBE. Madrid (España).

MAGRAMA (2010), "Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones"; Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino Pº de la Infanta Isabel, 1, Secretaría General Técnica NIPO: 770-10-061-3; ISBN: 978-84-491-1071-9.

NY-DEC (2004). Wet Weather Operating Practices for POTWs with Combined Sewers. New York State. Dpt. of Environmental Conservation. Documento de Transferencia Tecnológica. www.dec.state.ny.us/website/dow/bwcp/ww_training.html

RONZANO, E.; DAPENA, J. L. (1995); "Tratamiento biológico de las aguas residuales". Manual de PRIDESA; Ediciones Díaz de Santos, S. A.: Madrid (España).

SAINZ J. A. (2007). "Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales". Fundación EOI: Gregorio del Amo 6, Madrid (España).

SINCERO A. y SINCERO G. (2003). "Physical-chemical treatment of water and wastewater". CRC Press LLC: Boca Raton (Florida – USA).

SUÁREZ J., et al. (2008). Gestión de las aguas pluviales. Editado por CEDEX: Madrid.

WEF - ASCE (1998). "Design of municipal wastewater treatment"; Vol. 2. Water Environmental Federation; American Society of Civil Engineering: VA (USA).

WEF (2005) "Clarifier design". Manual of Practice Nº FD-8. Water Environment Federation. Alexandria, VA (USA).

VERNICK, A. S.; WALKER, E. C. (1981). "Handbook of wastewater treatment process"; Marcel Dekker, Inc.: Nueva York (USA).

REFERENCIAS DE TECNOLOGÍA



ANEXO 1.- COMPARATIVA DE CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO

Tabla.- Comparación de criterios de diseño de decantadores lamelares.

Parámetro	Unidades	KAWAMURA (2000) citado por Montgomery, 2005)	AWWA (2005)	ARBOLED A (2000)	Wang, L. (2005)		ROMERO, J. (1999)	ESPERT, V. (1996)	PROPUESTA DE CRITERIOS DE DISEÑO
Carga superficial para decantadores con tubos o placas para flóculo de aluminio ^a	m/h	2,5 – 6,25	2,4 – 7,3	5,0 – 7,5	TURBIDEZ DESEADA EN EFLUENTE (JTU) (Tª agua)	m/h	En general 2,5 – 12,5 Tubulares 7,5 – 12,5	3,75 – 7,5	6 m/h Max. Bibliografía 12.5
					1 - 5	6			
					3 - 7	7,2			
					5 - 10	9,6			
Carga superficial para decantadores con tubos o placas para flóculo pesado ^b	m/h	3,8 – 7,5							
Carga superficial (considerando superficie total proyectada de tubos o lamelas) para flóculo de aluminio. Vsc.	m/h		1,0 – 2,0 (1.2)						1,0 – 2,0 (1.2)
Radio hidráulico típico	cm	2,5 – 4,0							2,5 – 4,0
Velocidad máxima de flujo en el interior de las placas o tubos, V _o	m/min	0,15							0,15
TRH en sedimentadores tubulares	min	6 - 10					3 - 6		6 - 10
TRH en sedimentadores de placas inclinadas	min	15 - 25					15 - 25	12	15 Max. Bibliografía 25
Carga sobre vertedero	m³/h.m	3,75 - 15					Flóculo sulfato aluminio ligero Flóculo sulfato aluminio pesado Flóculo de ablandamiento Flóculo de coagulación	4 - 8	< 10,0 Max. Bibliografía 13
							6 - 7,6 7,6 - 11 11,0 - 13,0 < 10,0		
Ángulo de tubos o placas	deg	60º							
Velocidad media horizontal	m/min	0.05 - 0.13					≤ 0,6		

9 m/h



Número de Reynolds en zona de lamelas ó tubos				Partículas floculentas NRe≤280 Partículas discretas NRe≤600		200 - 500		NRe ≤ 200 Max. Bibliografía 600
Número de Reynolds en decantador	Adimens.	<20000						
Número de Froude	Adimens.	>10 ⁻⁵						

Kawamura (2000)/ a) Antes de instalar las placas o los tubos. b) Puede ser mayor dependiendo de las características del flóculo y del tipo de placa o tubo utilizado.

- **Alberto (1999):** *Potabilización del agua*. ALFAOMEGA. 3ª edición. (México, D.F.)
- **Arboleda, Jorge (2000):** *Teoría y práctica de la purificación del agua*. McGraw - Hill. Tercera edición. (Colombia).
- **American Water Works Association (AWWA) y American Society of Civil Engineers (ASCE) (2005):** *Water treatment plant design*. Handbooks. McGraw-Hill. Fourth edition. (USA).
- **American Water Works Association (AWWA) (2002):** *CALIDAD Y TRATAMIENTO DEL AGUA. Manual de suministros de agua comunitaria*. McGraw – Hill (quinta edición en inglés). (Madrid)
- **Montgomery Watson Harza (MWH) (2005):** *WATER TREATMENT. Principles and design*. Editado por John Wiley & Sons, Inc., (New Jersey- United States of America)
- **Wang, Lawrence K. ;Hung Tung-Tse; Shammass, Nazih .(2005):** *Physicochemical treatment processes. Handbook of environmental engineering*. Humana Press. (New Jersey- United States of America)
- **Masschelen, W. J. (996):** *Processus unitaires du traitement de l'eau potable*. CEBEDOC. (Belgium)



ANEXO 2

ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES NECESARIAS

ESTIMACIÓN DE SUPERFICIE NECESARIA PARA PROCESO DE DECANTACIÓN LAMELAR PRIMARIA

CARGA HIDRÁULICA (m3/m2.h)		
Rango	1 -1,5	
Valor adoptado	4	6
CAUDAL (m3/h)	SUPERFICIE NECESARIA (m2)	
5	1	1
10	3	2
20	5	3
30	8	5
40	10	7
50	13	8
60	15	10
70	18	12
80	20	13
90	23	15
100	25	17

ANEXO 3

DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE UNIDADES DE PROCESO



Figura 1
Problemas de flotación del módulo de tubos y atascamiento.

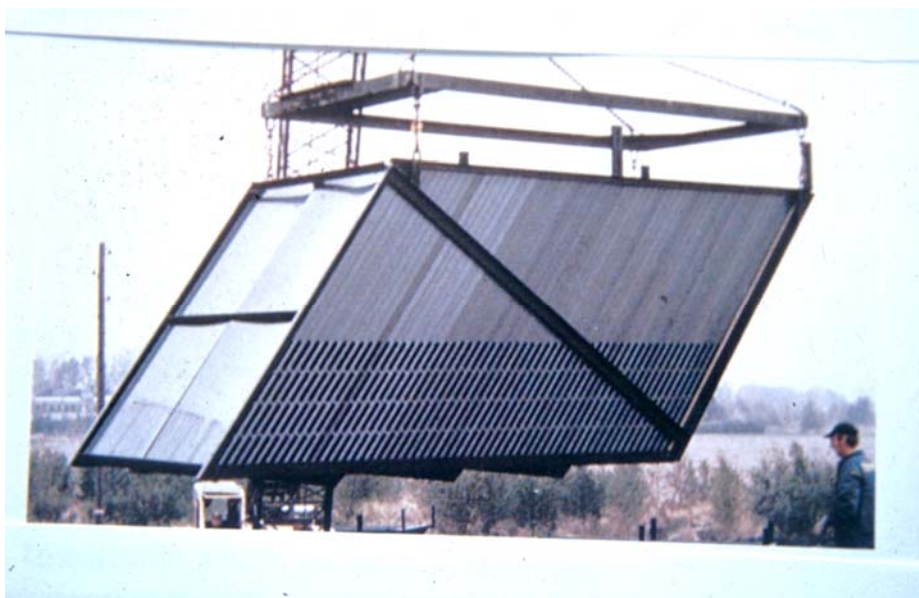


Figura 2
Módulo de placas para decantador lamelar.



Figura 3
Módulo de placas para decantador lamelar con orificios de entrada laterales.

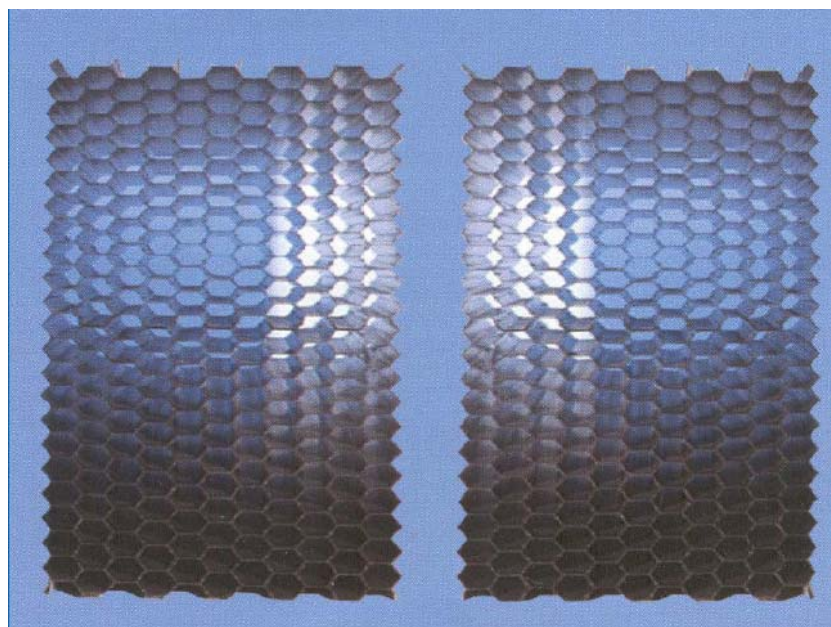


Figura 4
Detalle de módulos de decantadores tubulares.



Figura 5
Vertederos de recogida de decantadores lamelares.



Figura 6
Vista general de vertederos de recogida en decantadores lamelar y sistema de puente de rasquetas.



Figura 7
Vista general de vertederos de recogida en decantadores lamelar y sistema de puente de rasquetas.



Figura 8
Vista general de decantadores lamelares



Figura 9

Vista general de vertederos de recogida en decantador lamelar.

<http://www.cend.es/Ejemplos-y-casos-ilustrativos/Decantadores-lamelares/>





 ESPECIFICACIÓN LAMELAS TUBEdek®			
	FS41.50	FS41.80	FS41.84
			
Superficie proyectada por m ² de superficie de base	11 m ² /m ³ * H	6.25 m ² /m ³ * H	6.25 m ² /m ³ * H
Ángulo de inclinación 60°	13 m ² /m ³ * H	7 m ² /m ³ * H	7 m ² /m ³ * H
Ángulo inclinación 55°			
Altura H* de los módulos	500 – 1500 mm	700 – 2000 mm	700 – 2000 mm
Altura standard de los módulos	500/1000 mm	1000/1500 mm	1000/1500 mm
Distancia entre las placas de decantación	44 mm	80 mm (media)	84 mm
Espesores (±0.1)	1.3 mm	1.5 mm	1.5 mm
Radio hidráulico	1.5 cm	2.8 cm	2.6 cm
Material	PVC / PPTV **	PVC	PVC / PPTV**
Temperatura máxima de servicio	55°C (PVC) 75°C (PPTV)	55°C	55°C (PVC) 75°C (PPTV)
Peso (seco) (+ carga operación)	84.5 Kg/m ³ (PVC) 63 Kg/m ³ (PPTV)	50 Kg/m ³	50 Kg/m ³ (PVC) 36 Kg/m ³ (PPTV)
Aplicaciones	Tratamiento de agua de río, agua de lavado de fibras, tratamiento de agua potable, etc. Aguas residuales muy cargadas, p.ej. decantación primaria y secundaria en el tratamiento de aguas residuales urbanas.		
* Altura máxima de los módulos para recipientes circulares H=1000			
** El material PVC utilizado en la fabricación de los módulos TUBEdek es de tipo rígido exento de plastificantes. Este material es resistente a los ataques biológicos, a las bacterias y otros micro-organismos. Los módulos lamelares de polipropileno reforzado con talco (PPTV) se deben fijar correctamente para evitar la flotación, debido a la baja densidad del material.			
Ecología Técnica, SA se reserva el derecho de cambiar cualquier dato sin previo aviso			
ECOLOGÍA TÉCNICA, S.A. C/Estev Terrades, 37 A 08240 Manresa (Barcelona)		Tel. (93) 877 31 33 Fax (93) 877 05 58 e-mail: ecotec@ecotec.es	
		Pág.	1 de 1
		Nº	
		Fecha	1/01

Figura 10

Ejemplo de ficha técnica descriptiva de un módulo de decantador tubular.

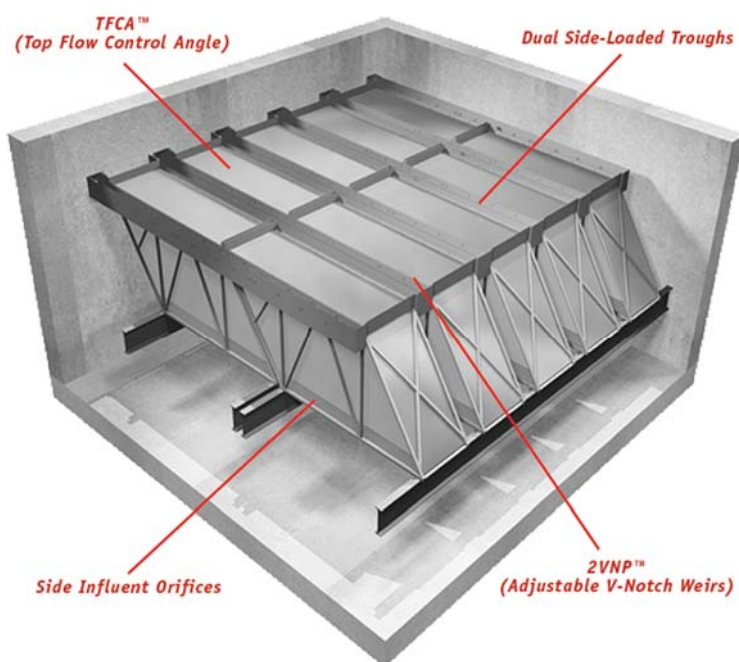


Figura 11
Disposición general de los módulos de placas.

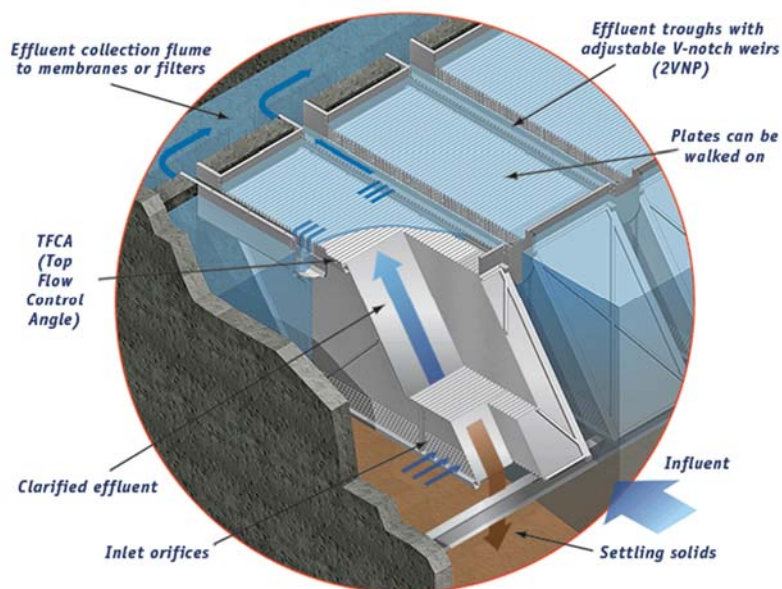


Figura 12
Disposición general de los módulos de placas.

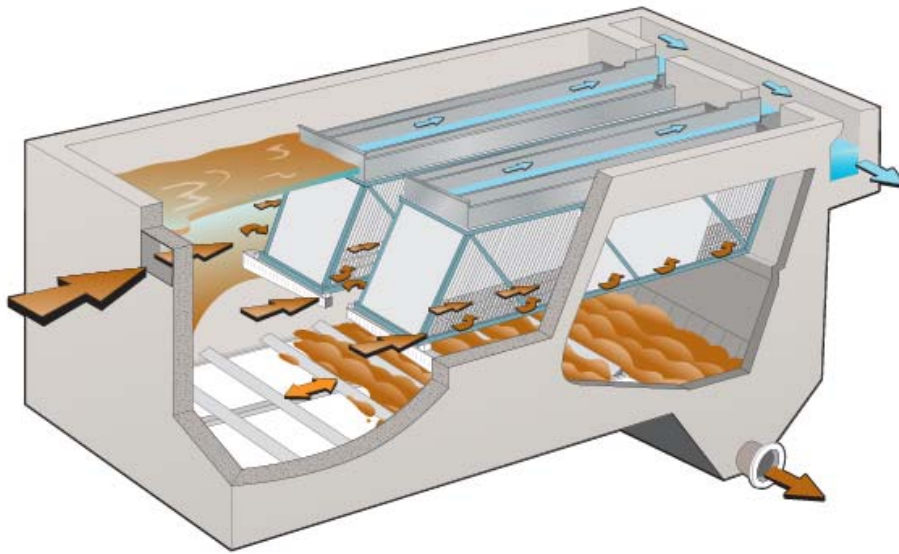


Figura 13
Disposición general de los módulos de placas, flujos y sistema de retirada de fangos.



Figura 14
Módulos de decantador tubular de plástico con rotura de elementos.



Figura 15

Vista general de vertederos de recogida en decantador lamelar y de los módulos de los tubos con roturas.

<http://www.cend.es/Ejemplos-y-casos-ilustrativos/Decantadores-lamelares/>