

# FT-BIO-005

FICHAS TÉCNICAS DE PROCESOS UNITARIOS  
DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS  
DE LA INDUSTRIA TEXTIL

## LECHO AIREABLE SUMERGIDO FIJO

*SERIE: TRATAMIENTOS SECUNDARIOS*

TÍTULO **LECHO AIREABLE SUMERGIDO (FT-BIO-005)**

Fecha de elaboración Marzo 2015

Revisión vigente

**LECHO AIREABLE SUMERGIDO FIJO (FT-BIO-005)**

<b>Fecha</b>	Marzo 2015		
<b>Autores</b>			
<b>Revisado</b>			
<b>Modificaciones</b>	Fecha	Modificado por:	Objeto da modificación

# ÍNDICE

**1.- INTRODUCCIÓN****2.- DESCRIPCIÓN**

*2.1.- Características del relleno o material soporte de biopelícula*

*2.2.- Características del agua residual*

*2.3.- Características de la aireación*

**3.- DISEÑO**

*3.1.- Carga orgánica*

*3.2.- Criterios de diseño del material de relleno*

*3.3.- Tiempo de retención hidráulica (TRH)*

*3.4.- Aireación forzada*

*3.5.- Producción de lodos*

*3.6.- Resumen de criterios generales de diseño*

**4.- DECANTACIÓN SECUNDARIA****5.- CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES****6.- ESPECIFICACIONES EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL****7.- PARÁMETROS Y ESTRATEGIAS DE CONTROL****8.- PROBLEMAS DE EXPLOTACIÓN****BIBLIOGRAFÍA****ANEXO 1.- ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES NECESARIAS****ANEXO 2.- DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE UNIDADES DE PROCESO**

## 1. - INTRODUCCIÓN

El principio de funcionamiento de un lecho aireado sumergido fijo (SAF por sus siglas en inglés de Submerged Aerated Filter) consiste en que un agua residual pre-tratada o decantada, atraviesa por un lecho filtrante sobre el cual se ha desarrollado adherido un cultivo bacteriano llamado biopelícula el cual degrada la contaminación orgánica disuelta. También, una fracción de las materias en suspensión y coloidales son adsorbidas por la biopelícula y por lo tanto eliminada del agua residual. Entre otras, los lechos sumergidos presentan las siguientes características ventajosas:

- funcionamiento estable
- suelen ser sencillos de explotar (incluso se emplean para viviendas unifamiliares)
- a diferencia de los procesos de biomasa en suspensión, no requieren recirculación o retorno de lodos

El objetivo de esta ficha técnica es presentar los criterios para el diseño de lechos aireados sumergidos fijos.

## 2.- DESCRIPCIÓN

Los lechos sumergidos fijos son reactores biopelícula donde el soporte o relleno se encuentra por debajo de la superficie libre del agua (sumergido).

En los lechos de soporte fijo, el material de relleno puede ser modular estructurado o material suelto, pero la premisa es que tiene que estar fijo, o fijado, sin movimiento alguno, tal como en un lecho bacteriano convencional. Se los puede llamar procesos Biopelícula de Lecho Aireable Sumergido Fijo, procesos **BLASF** (Tejero *et al.*, 1996). El exceso de biopelícula se desprende erosivamente de forma continua por lo que será necesario una decantación final o una filtración. Sin embargo, no será necesario el retrolavado del lecho.

En la mayoría de los casos, se considera una buena práctica que las plantas de tratamiento consten de más de una unidad de lecho aireado en serie, es decir se compartimenta la unidad de reacción en varias etapas.

El auge de este proceso empezó en la década de los 80, su desarrollo estuvo orientado a mejorar las prestaciones de los lechos bacterianos. En la actualidad, se emplean para:

- pretratamiento, principalmente de aguas residuales industriales fuertemente cargadas
- tratamiento secundario, con o sin nitrificación
- nitrificación terciaria
- nitrificación / desnitrificación simultáneas

Hidráulicamente pueden funcionar como reactores de mezcla completa o de flujo pistón. Pueden ser de flujo ascendente (co-corriente con el aire) o descendente (contracorriente con el aire).

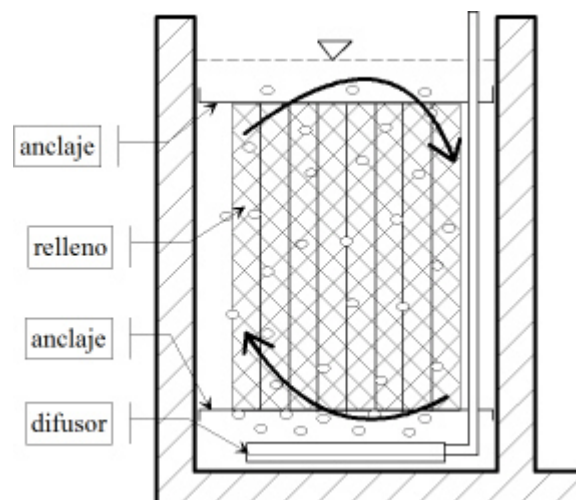


Figura 1.- Esquema de una tipología de proceso BLASF

### 2.1.- Características del relleno o material soporte de biopelícula

Como soporte de biopelícula, o relleno del lecho, actualmente se utilizan materiales de plástico con diferentes configuraciones, bien como piezas sueltas rellenando el reactor de forma aleatoria o mediante módulos colocados ordenadamente para formar el lecho.

Las principales variables del medio soporte a tener en cuenta son:

- **Superficie específica:** es el área del soporte disponible para el desarrollo de biopelícula por unidad de volumen de lecho ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ ).
- **Porosidad (índice de huecos):** es la fracción vacía del volumen de lecho. Permite estimar el volumen efectivo o útil para la circulación del agua, y por ende estimar el tiempo de retención hidráulica (TRH). Cuanto mayor es la carga orgánica aplicada mayor tiene que ser la porosidad dado que la biopelícula que se producirá tendrá mayor espesor.

La superficie específica determina la cantidad de biopelícula ( $\text{m}^2$ ) que es capaz de mantenerse por unidad de volumen de lecho. Sin embargo, un lecho de elevada superficie específica podría implicar un mayor atrapamiento o retención de sólidos en suspensión, y también que las pérdidas de carga por rozamiento sean mayores y por tanto que se requiera más energía para mover el agua a través del lecho a una cierta velocidad. Asimismo, la probabilidad de atascamiento es mayor si el relleno tiene una superficie específica muy elevada. Un fuerte lavado para desatascar un lecho, conllevaría la eliminación de protozoos y micro-metazoos (recorte de la cadena trófica) y un incremento de la producción de fangos. Por estas razones, la superficie específica del soporte usado para un lecho sumergido fijo destinado a la eliminación de materia orgánica (tratamiento secundario) no suele exceder de  $150 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , sin que se produzca atascamiento del lecho.

En general, los lechos aireados sumergidos fijos se rellenan con láminas de plástico corrugado, recortes de tubos de plástico, mallas de plástico, etc., con superficies específicas de varias decenas a cientos de  $\text{m}^2/\text{m}^3$ . Un medio de uso muy frecuente consiste en un tubo mallado de polietileno. Los tubos se unen formando paquetes cúbicos de 50 a 60 cm de arista (Fig. siguiente). En estos módulos, la superficie específica oscila de 100 a  $400 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , el área libre para el flujo de 50 a 70 %, la porosidad de 65 al 92 % y el diámetro de los tubos-malla va de 30 a 70 mm.



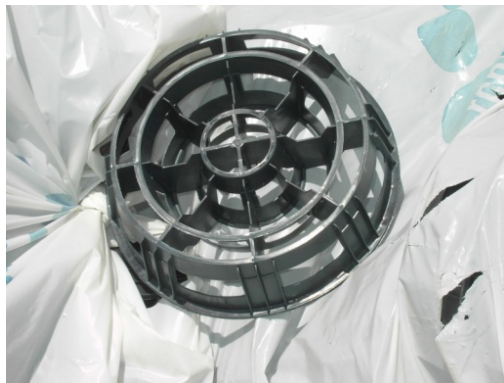
Figura 2.- Ejemplos de rellenos modulares, en forma de mallas cúbicas.

Otro conocido material de relleno está conformado por módulos o paquetes de cuerdas, se denomina ringlace (fig. siguiente).



**Figura 3.- Soporte fijo de cuerdas Ringleace. A la izda. limpio; a la dcha. colonizado por biopelícula.**

Los proveedores comercializan los lechos sumergidos con la denominación de procesos SAF (por Submerged Aerated Filter). Cuando se habla de productos SAF casi siempre se trata de lecho sumergido fijo. Sin embargo, en algunas marcas el soporte fijo no implica un módulo estructurado sino que pueden ser piezas sueltas pero confinadas, "empacadas", similares a las que se puede usar como relleno de un lecho bacteriano (figura siguiente).



**Figura 4.- Imagen derecha: tipología de relleno suelto utilizado en procesos SAF (diámetro medio: 12 a 15 cm). A la izda., un lecho aireado relleno con material suelto tipo Pall-rings (diámetro medio 9 cm).**

El cualquier caso, el relleno del lecho se apoya en un falso fondo, basado en una estructura metálica. La altura de relleno puede alcanzar los 6 metros.

## 2.2.- Características del agua residual

Los parámetros de contaminación asociados al funcionamiento y diseño de los lechos sumergidos son:

- Sólidos en suspensión
- Nutrientes
- Sustancias inhibidoras
- pH y temperatura, etc.

Para evitar el atascamiento del lecho es de mucha importancia la reducción previa de sólidos en suspensión, particularmente cuando se emplea un medio soporte de gran superficie específica. Sin embargo, la eliminación de sólidos en suspensión mediante un proceso físico provoca un incremento de la producción global de fangos del sistema, ya que una parte de estos sólidos constituyen sustrato orgánico cuando no existe pretratamiento. Para disminuir la producción de fangos se puede realizar una hidrólisis anaerobia de los sólidos en suspensión eliminados en el pretratamiento físico y entonces alimentarlos al lecho sumergido. En los casos de pequeños caudales, combinaciones del tipo fosa séptica + lecho aireado sumergido, o filtro anaerobio + lecho aireado sumergido, servirán para reducir la producción de fangos.

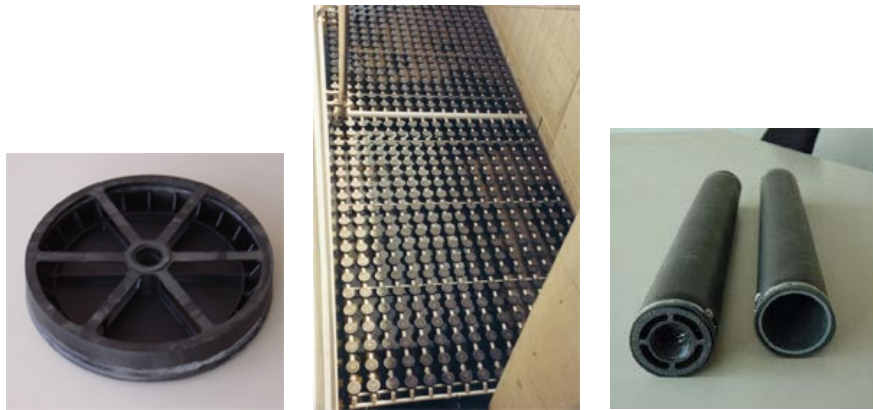
Los sistemas biopelícula, en general, tienen mayor tolerancia a la presencia de sustancias inhibitorias. Así mismo, toleran mejor cambios abruptos de pH. Adicionalmente, cuando el lecho o relleno está sumergido son menos susceptibles a las fluctuaciones de temperatura ambiente.

### 2.3.- Características de la aireación

#### 2.3.1.- Equipos de aireación

Para la aireación se emplea difusores de membrana de burbuja gruesa o fina. La difusión de burbuja fina consigue mayor eficiencia en la transferencia de oxígeno. Sin embargo, es más frecuente el burbujeo grueso porque previene mejor el atascamiento, y además produce un movimiento muy intenso del agua, en forma de bomba mamut, que mejora la transferencia de materia hacia la biopelícula (Schlegel y Koeser, 2007).

La difusión de aire, además de suministrar oxígeno, induce recirculación interna del agua que permite un intenso contacto de la biopelícula con agua residual aireada, optimizando la transferencia de oxígeno y mejorando los rendimientos. También se emplean membranas tubulares, que se suelen instalar a un costado del tanque.



**Figura 5.- Varias tipologías de difusores: discos de membrana (domos) y de membrana tubular. En la imagen central se observa un montaje de domos difusores que cubren el fondo de un reactor BLASF (Reproducida de Naston Ltd., 2007, [www.naston.co.uk](http://www.naston.co.uk))**



**Figura 6.- A la izquierda un montaje con relleno tipo BIO-BLOK y se observa la aireación con burbuja gruesa. A la derecha, se observa el montaje de difusores.**

#### 2.3.2.- Modos de aireación

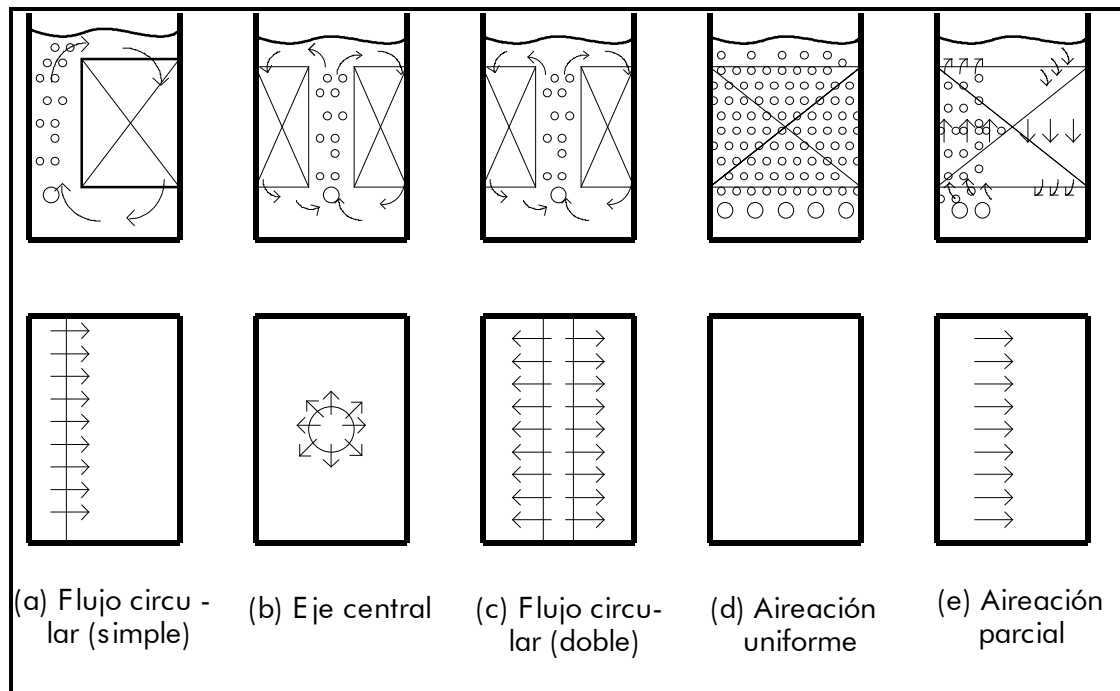
Los sistemas de aireación mediante difusores ocupan un espacio en el reactor y se instalan justo por debajo del relleno. Mediante la difusión de aire se consigue suministrar oxígeno y además una recirculación interna que permite el repetido contacto de la biopelícula con el agua residual aireada.

La aireación puede ser de varios tipos:

- (1) aireación central, en la que el aire difunde desde un tubo-eje colocado verticalmente en el centro del reactor generando un flujo con recirculación radial (esquema b);
- (2) de recirculación uni-direccional en la que los difusores son instalados a lo largo de una de las paredes del reactor (esquema a); y
- (3) de recirculación bi-direccional en la que los difusores de aire se colocan a lo largo de la línea central del reactor (esquema c).
- (4) También es posible introducir burbujas de aire directamente a través del lecho. En un caso, el aire es difundido hacia una zona del lecho y el flujo de recirculación se forma en el reactor (esquema e), y en otro, el aire se introduce distribuido uniformemente a todo el reactor (esquema d).



La eficiencia de transferencia de oxígeno es mayor en los sistemas de aireación a través del lecho que en los de recirculación, pero también será mayor el desprendimiento de biopelícula por erosión/abrasión, lo que implica una mayor producción de fangos.



**Figura 7.- Tipos de aireación para lechos aireados sumergidos fijos (Reproducida de Iwai y Kitao, 1994)**

También pueden usarse sistemas de aireación mecánica para el aporte de oxígeno y la formación de flujos de recirculación, pero estos sistemas son menos comunes que los de inyección de aire.

### 3.- DISEÑO

#### 3.1.- Carga orgánica

Cuando de tratamiento secundario se trata, el parámetro clave es la carga orgánica. En procesos biopelícula la carga orgánica puede expresarse sobre una base superficial o de volumen.

##### 3.1.1.- Carga orgánica volumétrica

$$C_{V,DQO} = \frac{Q_{\text{medio}} L_0}{V}$$

Donde:

$C_{V,DQO}$  = carga orgánica aplicada por unidad de volumen de lecho (kg DQO/m<sup>3</sup>/d)

$Q_{\text{medio}}$  = caudal diario medio total (m<sup>3</sup>/d)

$L_0$  = concentración media de DQO afluente sin tener en cuenta la recirculación (kg/m<sup>3</sup>)

$V$  = volumen de relleno (m<sup>3</sup>)

Para aguas residuales domésticas la carga orgánica volumétrica suele oscilar de 0.5 a 1.0 kg DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>/d. En términos de DQO sería de 1.0 a 2.0 kg/m<sup>3</sup>/d, considerando en el agua residual doméstica pretratada una ratio DQO/DBO<sub>5</sub> igual a 2.

En tratamiento secundario de aguas residuales industriales de procesamiento de alimentos (especialmente de vegetales) la carga orgánica volumétrica ha alcanzado valores de 4.5 kg DQO/m<sup>3</sup>/d, empleando relleno con una superficie específica de 150 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> (Schlegel y Teichgräber, 2000).



Para el pretratamiento, o tratamiento biológico de desbaste, del efluente de una industria de teñido de alfombras (DQO media = 1.500 mg/L), también se ha empleado una carga orgánica volumétrica de 4.5 kg DQO/m<sup>3</sup>/d, con un 60% de eficacia en la reducción de la DQO.

Para el tratamiento de las ARI de una industria de procesamiento de alquitrán (DQO promedio = 2.000 mg/L) se ha empleado la tecnología BLASF con carga orgánica de 1.5 a 6.75 kg DQO/m<sup>3</sup>/d, obteniéndose un vertido con DQO entre 80 y 120 mg/L (Schlegel y Koeser, 2007).

### 3.1.2.- Carga orgánica superficial

$$B_{A,DQO} = \frac{Q_{\text{medio}} L_0}{A}$$

Donde:

$B_{A,DQO}$  = carga orgánica aplicada por unidad de superficie de contacto de relleno (g DQO/m<sup>2</sup>/d)

$A$  = superficie de contacto del material de relleno (m<sup>2</sup>)

En el caso de aguas residuales domésticas el valor típico máximo es de 12 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>/d (24 g DQO/m<sup>2</sup>/d). En aguas residuales industriales, el rango es de 10 a 45 g DQO/m<sup>2</sup>/d.

### 3.2.- Criterios de diseño del material de relleno

En general, la altura de relleno no suele ser inferior a 1.50 m, ni superior a 6.00 m. El material soporte para eliminación de materia orgánica suele tener una superficie específica de 100 a 150 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

### 3.3.- Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = \frac{V}{Q_{\text{medio}}}$$

Donde,  $V$  es el volumen líquido efectivo, es decir, teniendo en cuenta la porosidad del material de relleno.

El TRH depende de la concentración del agua residual y puede alcanzar más de 1 día. En cualquier caso, el TRH no debería ser inferior a 90 minutos.

### 3.4.- Aireación forzada

La cantidad requerida de oxígeno se debe a la oxidación del sustrato así como a la respiración endógena de la biocenosis. Sin embargo, no es tan fácil determinar la cantidad de biomasa retenida en el reactor como en el caso de fangos activos, por lo que se suele estimar la demanda punta de oxígeno mediante:

$$NO_x = NO_x^b Q (L_0 - L_e) C_{p,Q} C_{p,DBO}$$

Donde:

$NO_x$  = necesidades punta de oxígeno (kg/h)

$NO_x^b$  = necesidades específicas de oxígeno (kg O<sub>2</sub>/kg DBO<sub>5</sub> elim) (= 0.8)

$Q$  = caudal medio de tratamiento (m<sup>3</sup>/h)

$L_0, L_e$  = conc. DBO afluente y efluente, respectivamente (mg/L)

$C_{p,Q}$  = coeficiente punta de caudal (=  $Q_{\text{máx}}/Q$ )

$C_{p,DBO}$  = coeficiente punta de DBO (a falta de datos, se adoptará un valor de 1.50)

### 3.5.- Producción de lodos

La producción de lodos está ligada a la carga orgánica de diseño y/o funcionamiento. En la siguiente tabla se presenta la producción específica de lodos en función de la carga orgánica.

**Tabla 1.- Producción específica de lodos en lechos aireados sumergidos**

Carga orgánica (kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> /d)	$P^l$ (kg SS/kg DBO <sub>5</sub> )
≤ 0.5	0.50
> 0.5	0.75

La concentración del lodo purgado se considerará del 1%.

### 3.6.- Resumen de criterios de dimensionamiento

**Tabla 2.- Características de diseño de lecho aireado sumergido para eliminación de materia orgánica**

Parámetro	Valor
Superficie específica del relleno, $A_s$ , (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	100 a 150
Carga orgánica, $B_A$ (g DQO/m <sup>2</sup> /d)	10 – 45
Altura de relleno (m)	1.50 – 6.00

#### 3.6.1.- Rendimiento

El rendimiento de un tratamiento biológico tiene que ver, entre otros factores, con el grado de biodegradabilidad del agua residual. Cuando el factor, o ratio, DQO/DBO es menor o igual que 2.0 a 2.5, se puede alcanzar un rendimiento del 90% en eliminación de materia orgánica (DQO o DBO), siempre que la carga orgánica superficial sea menor o igual que 10 g DQO/m<sup>2</sup>/d.

## 4.- DECANTACIÓN SECUNDARIA

El óptimo diseño de los decantadores es fundamental para alcanzar el rendimiento exigido al tratamiento secundario. Si los sólidos no son retenidos por el clarificador contribuirán a la DBO del efluente.

Para el proceso de clarificación se utilizarán decantadores estáticos, que podrán ser rectangulares o circulares. En lechos aireados la concentración de SS a la salida del reactor puede alcanzar y/o superar 400 mg/L, siendo aplicable la teoría de sedimentación zonal.

#### 4.1.- Variables de diseño

- **Velocidad ascensional o carga hidráulica superficial:** se basa en el caudal que realmente atraviesa la unidad, es decir, aquel que sale por el vertedero superficial de salida (caudal efluente).

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

Donde:

- $V_{ASC}$  = velocidad ascensional (m/h)
- $Q$  = caudal efluente (m<sup>3</sup>/h)
- $A$  = superficie horizontal de decantación (m<sup>2</sup>)

- **Tiempo de retención hidráulica:**

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

Donde:

- $TRH$  = tiempo de retención hidráulica (horas)
- $h$  = calado bajo vertedero (m)
- $V$  = volumen útil de decantación (m<sup>3</sup>)
- $Q = Q_{max}$  (m<sup>3</sup>/h)

- **Carga hidráulica sobre vertedero:** corresponde al caudal efluente por metro lineal de longitud de vertedero de salida.

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

Donde:

- $CH_V$  = carga hidráulica sobre vertedero (m<sup>3</sup>/h/m)
- $L_V$  = longitud de vertedero (m)
- $Q = Q_{max}$  (m<sup>3</sup>/h)

#### 4.2.- Resumen de valores de diseño

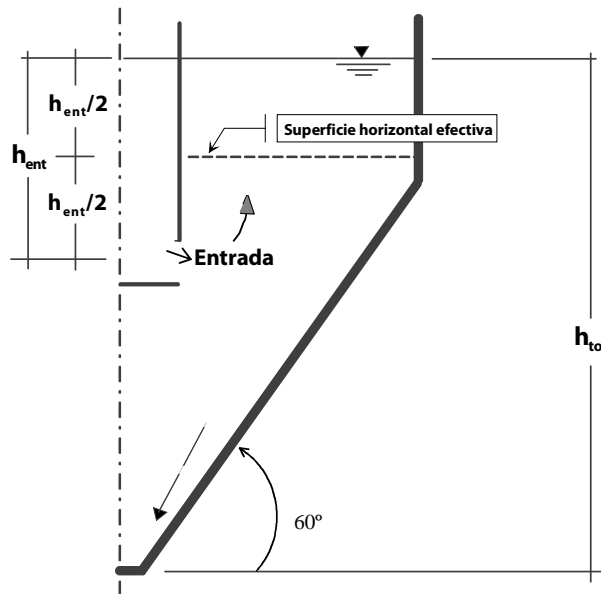
En la tabla siguiente se presenta un resumen de los valores típicos de los parámetros de diseño.

**Tabla 3.- Valores de diseño para decantación secundaria de lechos aireados sumergidos fijos**

Parámetro	Valor
Velocidad ascensional (m/h)	< 0.6 ( $Q_{medio}$ ) < 1.5 ( $Q_{max}$ )
Tiempo de retención hidráulica (h)	> 1 ( $Q_{max}$ )
Carga hidráulica máxima sobre vertedero ( $m^3/h/m$ )	< 10 (a $Q_{max}$ )
Concentración del fango (%)	$\leq 1$
Calado mínimo bajo vertedero (m)	$\geq 2.5$

Cuando el diámetro unitario de decantador sea  $\leq 5$  metros se recomienda emplear decantadores sin rasquetas de forma tronco-cónica, también llamados de flujo vertical. En estos decantadores la superficie horizontal efectiva se establece en el punto medio de la altura existente entre la cota de entrada de agua a la unidad (es decir, saliendo de la campana deflector) y la cota del nivel libre del agua (ver figura siguiente).

Para facilitar la sedimentación real del lodo, la pendiente de la pared de la zona cónica responderá a un ángulo de inclinación mayor o igual que  $60^\circ$ .



**Figura 8.- Esquema de un decantador tronco-cónico**

## 6.- CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES

### Reactor

La altura de relleno puede alcanzar los 6 metros. El material de relleno del lecho se apoya en un falso fondo, basado en una estructura metálica.

Se considera buena práctica que el reactor BLASF conste de más de una unidad de lecho aireado en serie, es decir, se trata de compartimentar el proceso (Fig. siguiente).

El proceso BLASF se emplea también para la eliminación de nitrógeno total mediante nitrificación/desnitrificación, en este caso es necesario incorporar uno o más lechos sumergidos no aireados (anóxicos), generalmente como etapas de pre-desnitrificación (Fig. siguiente). No obstante, el lecho anóxico o no aireado, tendrá que ir dotado de sistemas de aireación, mediante difusores de burbuja gruesa, con el objeto de lavar el exceso de biopelícula y/o liberar la acumulación de gas nitrógeno.



**Figura 9.- Esquema de un sistema de nitrificación – desnitrificación basado en lechos sumergidos compartimentado en 3 etapas en serie. La aireación en el lecho anóxico es para lavado, para purga de nitrógeno acumulado, e incluso para proceso.**

Es posible que al cabo de un largo periodo de funcionamiento, la calidad del efluente se deteriore debido al desprendimiento del exceso de biopelícula. Si fuera necesario, la excesiva acumulación de biopelícula debe eliminarse de la unidad mediante lavado, usando flujo de aire a elevada velocidad, 20 m/h. Los lavados pueden durar aproximadamente entre 10 y 20 minutos. La velocidad de aireación se refiere a la superficie en planta ocupada por el relleno. La práctica alemana recomienda realizar un lavado diario con los criterios antes anotados (20 m/h, 10 minutos, de caudal de aire) con la finalidad de evitar el atascamiento, es decir, podría usarse como lavado preventivo (DWA/ATV, 1997).

#### **Decantador secundario**

En cuanto al diseño del decantador secundario se observarán los siguientes aspectos:

- El vertedero de recogida de agua decantada deberá ser de acero inoxidable 304L, sujeto a perfiles con tornillería del mismo material.
- En cualquier caso, se dispondrá de deflector para prevenir el escape de flotantes en el decantador secundario.
- Las espumas y demás flotantes retirados no se retornarán jamás a cabecera de planta o al pozo de bombeo.
- Todos los pasamuros y tramos que vayan a quedar definitivamente embutidos en soleras o cimentaciones serán de acero inoxidable 304L.
- El cálculo estructural deberá contemplar el vaciado del decantador.
- Desde el decantador secundario el agua tratada se trasladará por gravedad hasta la obra de desagüe al medio, que dispondrá de una arqueta para anular la formación de espumas, y una válvula anti-retorno, para evitar cualquier flujo inverso.

## **7.- ESPECIFICACIONES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL**

Los lechos aireados sumergidos se han aplicado con éxito como pretratamiento de agua residual industrial antes de su vertido incorporación a una EDAR municipal. Este pretratamiento es más ventajoso en los casos de aguas residuales con fuerte carga orgánica o que contengan materia orgánica de difícil o lenta degradación. En el caso de ARI fuertemente cargadas, se ha visto que es aconsejable la recirculación del agua tratada (Schlegel y Teichgraber, 2000).

Todavía hay pocas experiencias con lechos aireables sumergidos fijos para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil a escala real. En cualquier caso, el criterio básico sigue siendo el mismo que para el tratamiento de aguas residuales domésticas: el diseño debe garantizar el “no atascamiento” del lecho”. Es decir, no solo se trata de conseguir un determinado rendimiento en eliminación de materia orgánica, sino también que el lecho siempre esté en buen estado de funcionamiento.

En Alemania, si se ha diseñado e instalado a escala real este proceso para el tratamiento de varias tipologías de aguas residuales industriales, por ejemplo: industria de alimentos, farmacéutica, industria del alquitrán, y teñido de alfombras (Schlegel y Teichgräber, 2000; Schlegel y Koeser, 2007).

En Irlanda del Norte, se ha llevado a cabo un proyecto de demostración a escala real de un lecho aireado sumergido fijo para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil. El líder del proyecto fue el QUESTOR Centre (Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología Ambiental) de la Universidad de Queen.

#### **Caso de una industria de teñido de alfombras, sector textil**

El objetivo del lecho aireado sumergido fue un desbaste (o pretratamiento) de la carga orgánica aportada por el efluente de esta industria. Las ARI se conectan a la EDAR municipal de Nottuln-Appelhülsen (Westfalia) que fue diseñada para 27.000 h-e (base DBO), con el supuesto de que 4.000 h-e corresponderían a la industria textil. Sin embargo, el incremento de la producción fabril multiplicó por 4 la carga industrial, es decir su población equivalente llegó a los 16.000 h-e (Schlegel y Teichgräber, 2000).

Así, para el "pretratamiento" del ARI se diseñó y construyó un reactor de lecho aireado sumergido de 1.400 m<sup>3</sup>, usando un material de relleno de 150 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> que ocupó un volumen de 800 m<sup>3</sup>. El agua residual textil presentó una ratio DQO/DBO = 3.8, es decir, se trata de un residuo de lenta o difícil degradación. Tras un largo periodo de adaptación (3 años), el lecho aireado sumergido alcanzó los siguientes resultados:

**Tabla 4.- Composición media de afluente y efluente de un lecho aireado sumergido para el pretratamiento de las aguas residuales de una industria de teñido de alfombras (Fuente: Schlegel y Koeser, 2007)**

Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente (fase de puesta en marcha)	Efluente después de 3 años de funcionamiento
Caudal	m <sup>3</sup> /d	800 a 1200		
Carga orgánica	g DQO/m <sup>2</sup> /d	10 a 30		
DQO	mg/L	1500 a 6000	1000 a 2000	800 a 1200

Después, el efluente del lecho aireado sumergido se incorpora a la línea de tratamiento de la EDAR municipal (Nottuln-Appelhülsen), basada en fangos activos, obteniendo un efluente final con 5/32/0.2/5 mg/L de DBO/DQO/N-amonio/N-nitrato.

De la información suministrada, se deducen o extraen al menos 3 criterios de diseño: 1) la carga orgánica máxima de diseño (30 g DQO/m<sup>2</sup>/d, expresada en la tabla anterior), 2) el TRH aproximado considerando el volumen global (= 1400/1000 = 1.4 días) y 3) la fracción de relleno del reactor (= 800/1400 = 0.57).

El informe no indica nada acerca de la concentración del color en el agua tratada. Tratándose de una industria centrada en el teñido, el color analítico debería ser un parámetro clave de control del tratamiento.

#### **Caso del proyecto de demostración SAFTEX**

En 2002 el QUESTOR Centre, en unión con un grupo de empresas (William Clark & Sons Ltd., STG Ltd., y Madden Associates), lideró un proyecto de demostración del uso o aplicación de un lecho aireado sumergido para el tratamiento de aguas residuales (efluente) de la industria textil. El proyecto se denominó SAFTEX ("SAF" de Submerged Aerated Filter y "TEX" de textil).

Las características generales de diseño del SAFTEX a escala real fueron:

- Volumen total: 60 m<sup>3</sup>
- Capacidad: 240 kg DBO<sub>5</sub>/d

El tipo de relleno fue similar al denominado Pall-rings. El sistema incluyó homogenización previa. El proceso fue ensayado con elevada carga orgánica: > 4 kg DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>/d. El desarrollo de biopelícula dio lugar a una concentración equivalente a 10.000 mg/L de SSLM.

Aunque, no se han publicado los resultados obtenidos en cuanto a rendimiento y/o calidad del agua tratada, un resumen del proyecto señala que la optimización del proceso permitió conseguir un agua depurada con cumplimiento de los límites de vertido (Groom, 2007).



**Figura 10.- Biopelícula desarrollada sobre el soporte del SAFTEX. El soporte es tipo Pall-rings o similar.**

## 8.- PARÁMETROS Y ESTRATEGIAS DE CONTROL

El control del proceso se basa en la evaluación y actuación sobre determinados factores relacionados entre sí, que favorecen el eficaz tratamiento de las aguas residuales. Estos factores son:

- Calidad exigida del agua de salida.
- Caudal, concentración y características de las aguas residuales recibidas.
- Cantidad de oxígeno que se requiere para atender la demanda de oxígeno de las aguas residuales que entran, así como para mantener un nivel de oxígeno adecuado a las necesidades de los microorganismos.
- Reparto por igual del caudal que entra en la planta entre todas las unidades idénticas de tratamiento (dos o más decantadores o reactores biológicos).
- Transferencia de las sustancias contaminantes de las aguas residuales a los microorganismos (biopelícula) y separación de los sólidos en suspensión del agua tratada.
- Control eficaz y evacuación de los residuos (sólidos, flotantes y sobrenadantes) para realizar la evacuación final sin producir nuevos contaminantes.

### 8.1.- Control de la aireación

Un punto de gran importancia a controlar en los reactores biológicos es la concentración de oxígeno disuelto (OD). Para realizar esta medida se usará una sonda de OD fija o portátil. Para la eficaz oxidación de materia orgánica es aceptable un rango de OD **entre 1 y 2 ppm**. En las plantas de mayor tamaño la aireación suele estar automatizada, de manera que, en función del OD que mida la sonda, los equipos de aireación se arrancarán o pararán. Además, si se dispone de variadores de frecuencia se regulará el caudal de aire suministrado.

En el caso de pequeñas depuradoras la aireación está temporizada, de manera que hay que ir probando en qué horas del día se necesita más oxígeno, normalmente cuando llega más caudal, y cuándo se necesita menos. Lo que no se puede olvidar es que en las pequeñas depuradoras, donde no suele haber agitadores, el equipo de aireación hace la veces de agitador para que los organismos estén en suspensión y puedan depurar correctamente el agua residual. Por ello, la aireación no ha de estar mucho tiempo parada, para evitar que los organismos decanten en el reactor. Por esto se ha de definir correctamente el tiempo máximo de parada (10-20 minutos).

### 8.2.- Control de la decantación y purga

En el caso de más de una línea de decantación, habrá que asegurar que el agua tratada que sale del reactor o reactores se reparte por igual entre todos los decantadores secundarios.

Asimismo, se ha de evitar que el fango decantado permanezca mucho tiempo en el decantador. Para ello hay que controlar los tiempos del bombeo de purga de fangos. En general, se hará una purga cada hora.

Una instalación aunque funcione adecuadamente producirá una cierta cantidad de biopelícula desprendida y/o flocúlos de bajo peso o densidad que flotarán en la superficie del decantador. Un deflector de flotantes evitará que salgan del decantador junto con el agua tratada.

### 8.3.- Comprobaciones diarias en el reactor y en el decantador

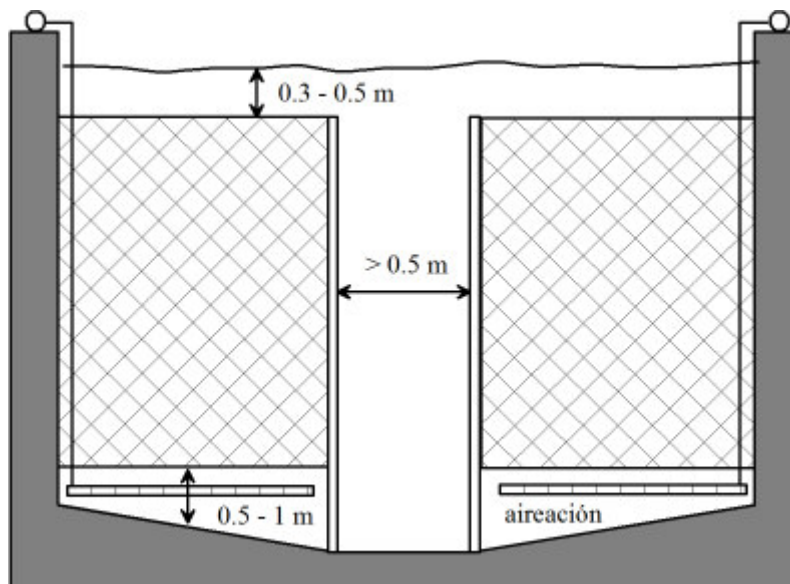
Las tareas a controlar y realizar son:

- Observar el aspecto del agua en reactores y decantadores.
- Adecuado mantenimiento y lubricación de la unidad de aireación.
- Cepillado de los vertederos de salida de agua decantada.
- Retirada de las grasas y otros materiales flotantes, como trozos de goma y plástico.

## 9.- PROBLEMAS DE EXPLOTACIÓN

El principal problema de explotación que podrían presentar los lechos aireados sumergidos es el atascamiento del lecho. Como este problema solo se puede presentar en reactores de eliminación de materia orgánica, para evitarlo se limita la carga orgánica de diseño a 10 g DQO/m<sup>2</sup>/d y la superficie específica del material soporte a 150 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

Otro problema podría ser la obturación y/o rotura de los difusores de aire. Para atacar este problema, el diseño del sistema debería facilitar el acceso a la zona de difusores, por ejemplo: dejando una cierta separación entre los paquetes o módulos de relleno (un pasillo de acceso).



**Figura 11.- Configuración propuesta para un fácil acceso a la zona de aireación con la finalidad de actividades de mantenimiento.**

Adicionalmente, la combinación de un contenido elevado de detergentes en el agua residual con aireación intensa, sobre todo de burbuja fina, puede dar lugar a una producción excesiva de espumas. La solución en estos casos puede resultar compleja, pasando por: optimización del consumo de detergentes (reducción en origen), aireación intermitente del reactor, y uso de anti-espumantes. El problema de los detergentes es que se trata de materia orgánica disuelta, y por lo tanto un proceso químico, tipo coagulación y/o floculación, como tratamiento previo no mejoraría la calidad del agua residual.

Finalmente, una excesiva concentración de aceites y grasas en el agua residual (p.e.: procedente de un proceso de lavado o desbaste de lana) es indeseable para todo proceso biológico. Los impactos negativos principales son: la pérdida de eficiencia en la transferencia de oxígeno y la posibilidad de acumulación en la biomasa. Cualquiera de estos impactos produciría una pérdida de rendimiento del tratamiento. Sin embargo, se trata de un problema de fácil solución, pues, se puede resolver con un pretratamiento del agua residual que incluya una operación física sencilla como es el desengrasado.

# BIBLIOGRAFÍA

- ACORN Environmental Systems Limited. (2002) "Acorn Submerged Aerated Filter". [www.v63.net/acornsystems](http://www.v63.net/acornsystems).
- ADVANCED BIOTECH Ltd. (2002). "Submerged Aerated Filter sewage treatment plants for single dwellings". [www.advanced-bio-tech.com/saf.htm](http://www.advanced-bio-tech.com/saf.htm)
- BioKube Int. Ltd. (2007). "BioKube on-site wastewater treatment systems". [www.biokube.dk](http://www.biokube.dk)
- BORD na MÓNA Environmental Ltd. (2007). "Platinum Mini: Wastewater Treatment Plant". [www.bnm.ie](http://www.bnm.ie)
- CDS Technologies, Inc. (2007) "Submerged Aerated Filter (SAF)". [www.cdstech.com](http://www.cdstech.com)
- COOPER-SMITH, G (2006). "Treatment technologies for smaller WwTW". "CIWEM North Western & Wales: 4<sup>th</sup> National Wastewater Conference.
- COPA Ltd. (2007). "Case Studies- SAF". [www.copa.co.uk](http://www.copa.co.uk)
- DWA/ATV (1997). "Plants with submerged fixed beds – ATV Manual for Biological and Advanced Wastewater Treatment (in German), 4<sup>th</sup> edn, Ernst und Sohn: Berlín.
- ENVICON (2003). "VCK: Compact Wastewater Treatment Plants". <http://envicon.net/UK/Klaertechnik/VCKDatenblatt.htm>
- GÓMEZ, L. A. (1998). "Optimización del proceso BLAS II® aplicando altas cargas orgánicas con agua residual urbana". Tesis Doctoral. Universidad de Cantabria. España.
- GONZÁLEZ, S., y DUQUE, L. (1992). "Aerobic submerged biofilm reactors for wastewater treatment". *Wat. Res.*, 26 (6): 825 – 833.
- GRADY, L.E., DAIGGER, G.T., LIM, H. (1999). "Biological wastewater treatment", 2<sup>nd</sup>. Edition. Marcel Dekker: New York.
- GROOM E. (2007). "Effluent treatment using a submerged aerated filter". A BIO-WISE Demonstrator Project. En: *Ecotextiles: the way forward for sustainable development in textiles*. Woodhead Publishing Limited: Abington Cambridge (England).
- HARREMOËS, P., HENZE, M. (1995). "Biofilters". En: *Wastewater treatment. Biological and Chemical Processes*. Springer-Verlag, Berlín.
- HYNDS Environmental (2004) "Submerged Aerated Filtration". [www.hynds.co.nz](http://www.hynds.co.nz)
- IWAI, S. y KITAO, T. (1994) "Wastewater treatment with microbial films"; Tecnicomic, Suiza.
- JÁCOME A., MOLINA J., NOVOA R., SUÁREZ J., FERREIRO S. (2014). "Simultaneous carbon and nitrogen removal from municipal wastewater in full-scale unaerated/aerated submerged filters". *Water Science and Technology* (WST), 69(1): 217- 221.
- KEE Process Ltd. (2006). "EnviroSAF. Wastewater Treatment Systems: Submerged Aerated Filter (SAF)". [www.keeprocess.com](http://www.keeprocess.com).
- NASTON Limited (2007) "SAF Packaged Sewage Treatment Plant". [www.naston.co.uk](http://www.naston.co.uk)
- NOVOA, R., JÁCOME, A.; MOLINA, J.; SUÁREZ, J.; FERREIRO, S. (2011). Removal of carbon and nitrogen of municipal wastewater with submerged filters. Experience from a full-scale plant. Smallwat' 11. Sevilla (España). Abril.
- SANTAMARÍA C. (1998). "Desarrollo de un reactor biopelícula de lecho aireado y sumergido, con soporte fijo (BLAS II®) para la eliminación de carbono orgánico". Tesis Doctoral. Universidad de Cantabria. España.



SCHLEGEL S., TEICHGRÄBER B. (2000). "Operational results and experience with submerged fixed-film reactors in the pretreatment of industrial effluents". *Wat. Sci. Tech.*, **41**(4-5): 453-459.

SCHLEGEL S., KOESER H. (2007). "Wastewater treatment with submerged fixed bed biofilm reactor systems – design rules, operating experiences and ongoing developments". *Wat. Sci. Tech.*, **55**(8-9): 83-89.

SEVERN TRENT Services (2005). "TETRA SAF™ System. Submerged Aerated Filter for Wastewater Treatment". [www.severntrentservices.com](http://www.severntrentservices.com).

TEJERO I.; JÁCOME A.; LORDA I.; SANTAMARÍA C. (1996). Procesos biopelícula de depuración de aguas residuales: procesos convencionales. *Retema*, nº 45: pág. 68 - 84.

WERF (2000). "Investigation of hybrid systems for enhanced nutrient control". Project 96-CTS-4. Water Environment Research Foundation, Alexandria (VA-USA).

WEF, ASCE-EWRI. (2010). Design of municipal wastewater treatment plants", fifth edition. Volume 2: Liquid treatment processes. McGraw-Hill: New York.

[www.nsw.com/eng/products\\_services/plastic\\_environmental\\_products/](http://www.nsw.com/eng/products_services/plastic_environmental_products/) (21-06-02)

[www.expo-net.dk/](http://www.expo-net.dk/) (18-07-02)

[www.stg-wastewater.com](http://www.stg-wastewater.com) (18-07-02)

[www.capitalcontrols.net/pages/tetra\\_saf.shtml](http://www.capitalcontrols.net/pages/tetra_saf.shtml) (8-11-02)

[www.proequipment.com/biological\\_process/ifas.htm](http://www.proequipment.com/biological_process/ifas.htm) (21-06-02)

[www.nottingham.ac.uk/~enzetc/guide/engsol](http://www.nottingham.ac.uk/~enzetc/guide/engsol) (08/11/02)



# ANEXO 1

## ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES NECESARIAS

### 1.- SUPERFICIE NECESARIA PARA REACTOR BIOLÓGICO

En la siguiente tabla se presenta la demanda de superficie para un reactor biológico de lecho aireado sumergido para diferentes tamaños de la industria textil expresado en términos del caudal medio de tratamiento. Se considera que habrá un tanque de homogenización de caudales y concentraciones.

Las hipótesis generales de partida son:

- Concentración DBO<sub>5</sub> homogenizada = 300 mg/L
- Concentración de DQO homogenizada = 1000 mg/L

El criterio principal de diseño es la carga orgánica que no será superior a:

- 0.5 kg DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>/d
- 10 g DQO/m<sup>2</sup>/d

La superficie específica del material de relleno no será mayor de 150 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

La superficie necesaria dependerá de la altura de relleno que se adopte. En todo caso, esta no será inferior a 1.80 m ni superior a 6.0 m.

Así, se obtiene los siguientes resultados:

**Tabla 1.- Estimación de superficie necesaria para reactor de lecho aireado sumergido en función del caudal a tratar**

		Altura de relleno (m)	
		1.80	6.00
Caudal	Volumen	Superficie	Superficie
(m <sup>3</sup> /d)	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
20	13.33	8	3
200	133.3	80	30
1000	666.65	400	150
2000	1333.3	800	300

### 2.- SUPERFICIE NECESARIA PARA LA DECANTACIÓN SECUNDARIA

Para estimar la superficie necesaria de decantación se emplearán los siguientes criterios de diseño:

Velocidad ascensional a Q<sub>medio</sub> (V<sub>ASC</sub>) = 0.6 m/h

Calado mínimo = 3.00 m

Los resultados se presentan en la siguiente tabla:



**Tabla 2.- Estimación de superficie necesaria para la decantación secundaria del proceso de lecho aireado sumergido en función del caudal a tratar**

<b>Caudal</b>	<b>Superficie</b>
(m <sup>3</sup> /d)	(m <sup>2</sup> )
20	1.4
200	14
1000	69
2000	139

Finalmente, la superficie necesaria mínima para el "tratamiento secundario" se obtiene de sumar la superficie de reactor más la de decantación. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 3.- Estimación de superficie total mínima necesaria de tratamiento secundario (reactor + decantación)**

	<b>Altura relleno (m)</b>	
	1.8	6.0
<b>Caudal</b>	<b>Superficie total</b>	<b>Superficie total</b>
(m <sup>3</sup> /d)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
20	10	5
200	89	37
1000	441	182
2000	880	362



## ANEXO 2

### DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE UNIDADES DE PROCESO



Figura 1.- Sistemas BLASF prefabricados. BIOCLERE® (Fuente: [www.naston.com](http://www.naston.com), 22/07/02)

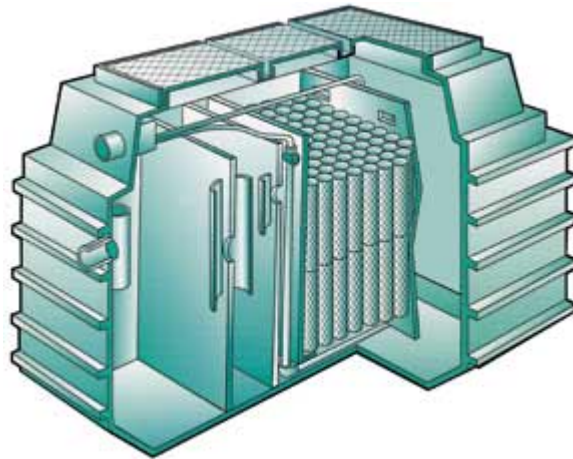


Figura 2.- Proceso BAF (Biological Aerated Filter). El tratamiento primario es de tipo fosa séptica de doble cámara. Los fangos secundarios se retornan al primario (Fuente: [www.v63.net](http://www.v63.net), 14/11/02).



Figura 3.- Sistemas BLASF prefabricados (Fuente: [www.nottingham.ac.uk/~enzetc/guide/engsol](http://www.nottingham.ac.uk/~enzetc/guide/engsol), 08/11/02)

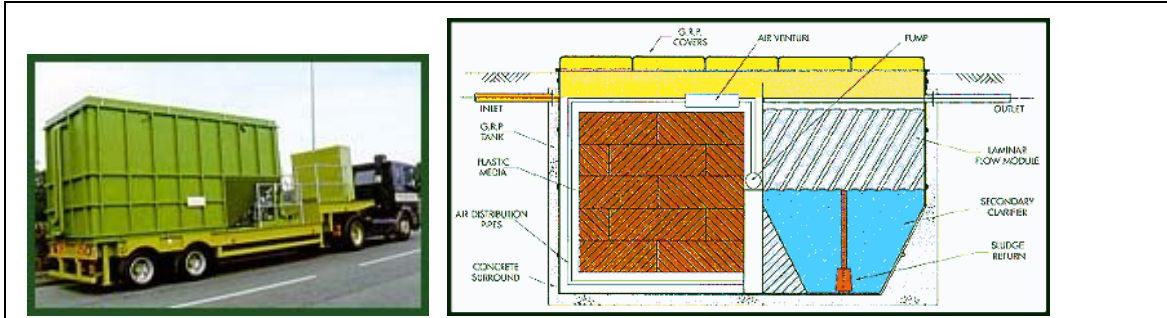


Figura 4.- Planta compacta en acero. Proceso BLASF y decantador separado Proceso BIOCLERE® (Fuente: [www.naston.com](http://www.naston.com), 22/07/02)

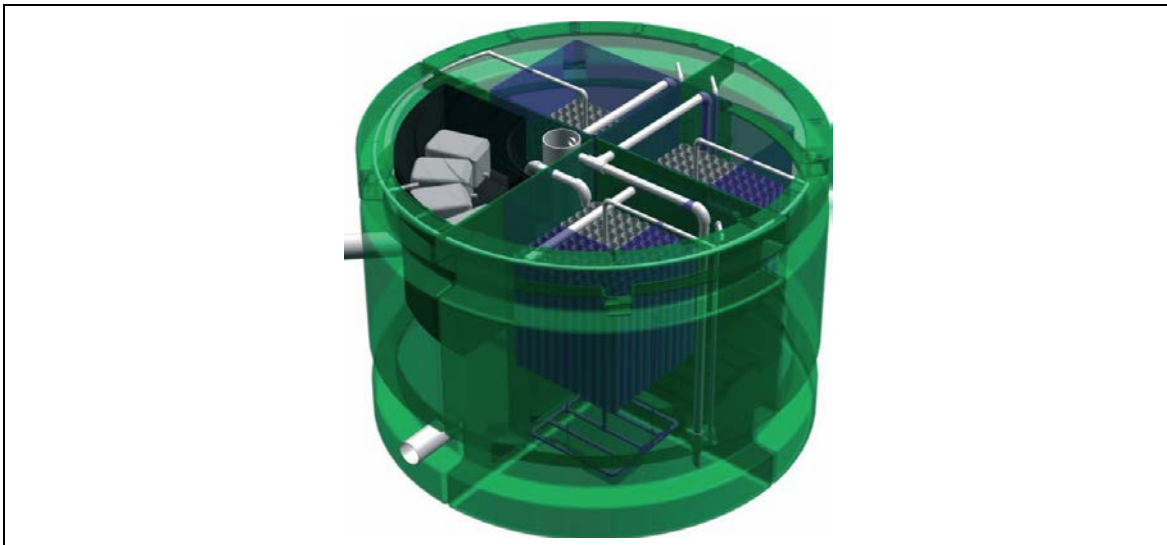


Figura 5.- Sistema compacto BioKube, hasta 30 h-e. Se compone de 3 cámaras en serie de lechos aireados sumergidos para oxidar DBO y amonio (Biokube International, [www.biokube.dk](http://www.biokube.dk))



Figura 6.- "SAF" marca Haith, con relleno de piezas sueltas pero no móviles. La superficie específica puede ser de 120 o 210 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, no se requiere retrolavados (Cooper-Smith, 2006)



Figura 7.- EDAR urbana para 1.500 h-e, 2 líneas de proceso BLASF (2 x 4 lechos en serie) (Fuente: [www.copa.co.uk](http://www.copa.co.uk))

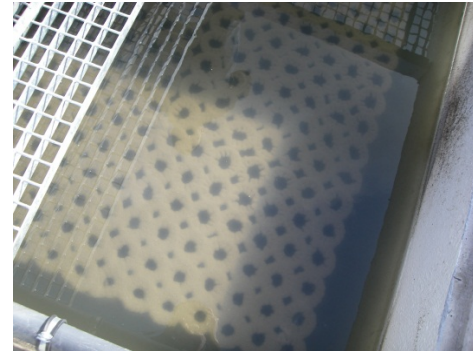


Figura 8.- Reactor de lecho aireable sumergido en hormigón prefabricado (LAS-NITRO). A la derecha, se observa el material de relleno colonizado (recubierto) por la biopelícula. (Foto: cortesía de INNDES, Ltd.)



Figura 9.- Instalación general del proyecto SAFTEX (Fuente: Sustainable Technologies Group (STG) Ltd.).