

FT-BIO-006

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

BIOFILTROS AIREABLES

SERIE: TRATAMIENTOS SECUNDARIOS

TÍTULO	BIOFILTROS AIREABLES (FT-BIO-006)
Fecha de elaboración	Octubre del 2014
Revisión vigente	

BIOFILTROS AIREABLES (FT-BIO-006)

Fecha	Octubre del 2014		
Autores			
Revisado			
Modificaciones	Fecha	Modificado por:	Objeto da modificación

ÍNDICE

-
- 1.- INTRODUCCIÓN
 - 2.- DESCRIPCIÓN
 - 3.- CRITERIOS DE DISEÑO
 - 4.- CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES
 - 5.- ESPECIFICACIONES EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL
 - 6.- PARÁMETROS Y ESTRATEGIAS DE CONTROL
 - 7.- PROBLEMAS DE EXPLOTACIÓN

BIBLIOGRAFÍA

- ANEXO 1.- ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES NECESARIAS
 - ANEXO 2.- DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE UNIDADES DE PROCESO
-



1.- INTRODUCCIÓN

Un biofiltro aireable consiste de un lecho de material granular que actúa simultáneamente como soporte de biopelícula y como medio filtrante. Por lo tanto, un biofiltro tiene el doble objetivo de tratamiento biológico y de eliminación de sólidos en suspensión. El proceso puede funcionar bajo condiciones aerobias o anóxicas, de modo que, los biofiltros pueden emplearse para oxidación orgánica, sola o conjuntamente con nitrificación, nitrificación terciaria, nitrificación y desnitrificación, y desnitrificación terciaria.

Cuando el objetivo es usarlo como tratamiento secundario, el agua residual bruta tiene que pasar antes por desbaste, desarenado y decantación primaria.

En esta ficha técnica se describe la aplicación de la tecnología de biofiltros para la eliminación de materia orgánica y nitrógeno.

2.- DESCRIPCIÓN

Hay que diferenciar dos tipos de lechos. Unos son "pseudo-fijos o", al estilo de un filtro rápido de arena, porque el material filtrante tiene elevada densidad (por ejemplo: BIOCARBONE, BIOFOR, NITRAZUR, FLOPAC, DENITE). Otros son "flotantes", ya que el material filtrante es mucho más ligero que el agua y por lo tanto el lecho "flota" (por ejemplo: BIOSTYR, FILTRAZUR, DENIPOR, BIOFILTER).

La alimentación del agua residual se puede hacer en sentido ascendente (p.e.: BIOFOR®, BIOSTYR®,...) o descendente (p.e.: BIOCARBONE®,...).

El lecho filtrante se colmata progresivamente debido al crecimiento de la biopelícula y a la retención de sólidos en suspensión. La retención de sólidos en el mismo reactor evita la necesidad de un decantador secundario.

El exceso de biopelícula se retira periódicamente del sistema mediante retrolavados con aire y agua. El lavado desempeña un papel similar a la purga de fangos en exceso de un sistema de fangos activos.

Por tanto, el reactor realiza durante su operación:

- Retención de sólidos en suspensión del agua residual al pasar a través del lecho filtrante.
- Transformación biológica de la materia orgánica por la biopelícula.

Esto exige:

- Concentración elevada de biomasa activa en el reactor (10 a 20 veces más que en unos fangos activos).
- Satisfacer la demanda nutricional y energética de esa biomasa
- Gestión óptima de los ciclos de lavado para purgar regularmente el exceso de biopelícula.

Los biofiltros aireados en definitiva intensifican el proceso de depuración, consiguiendo reducir las necesidades de espacio. La carga orgánica volumétrica aplicada a estos reactores puede ser 5 veces superior a la que se suele aplicar en los fangos activos, cuando el objetivo es eliminar materia orgánica.

2.1.- Principales características técnicas de los procesos más comunes

De los biofiltros que más información técnica se dispone son los BIOCARBONE®, BIOSTYR® y BIOFOR®. En esta ficha se describirá principalmente estas tecnologías.


2.1.1.- Material Soporte

El soporte debe cumplir dos objetivos: fijación de la biomasa y retención de sólidos. La selección del material resulta del compromiso de dos exigencias contradictorias: granulometría fina, adecuada para la fijación de la biomasa, y granulometría grande para limitar la velocidad de colmatación del filtro.

Las tecnologías citadas utilizan diferentes materiales, así:

BIOCARBONE® Y BIOFOR®

Las características generales son las siguientes:

 UNIVERSIDADE DA CORUÑA		 Water and Environmental Engineering Group
--	--	---

- ✓ Tamaño de 2 a 6 mm, en función de la carga de sólidos en suspensión del agua a tratar.
- ✓ Densidad relativa del orden de 1.5 (densidades superiores implican un mayor gasto energético durante la operación, y sobre todo en los lavados ya que hay que expandir el lecho).
- ✓ Uniformidad del material granular, para limitar el riesgo de colmatación debido a las partículas finas.
- ✓ Buena resistencia a la abrasión: el soporte debe conservar sus características de forma y diámetro.

Los materiales más utilizados son de la familia de los silicatos. También se usa puzolana. Por ejemplo, el BIOCARBONE® emplea un material llamado Biodamine (se trata de un esquisto bituminoso expandido), y el BIOFOR® utiliza Biolite (una arcilla expandida). El Biofor® es de amplio espectro, ya que se puede aplicar para reducir DBO, nitrificar y desnitrificar. Mientras que el Biocarbhone se aplica como proceso de oxidación orgánica y nitrificación.

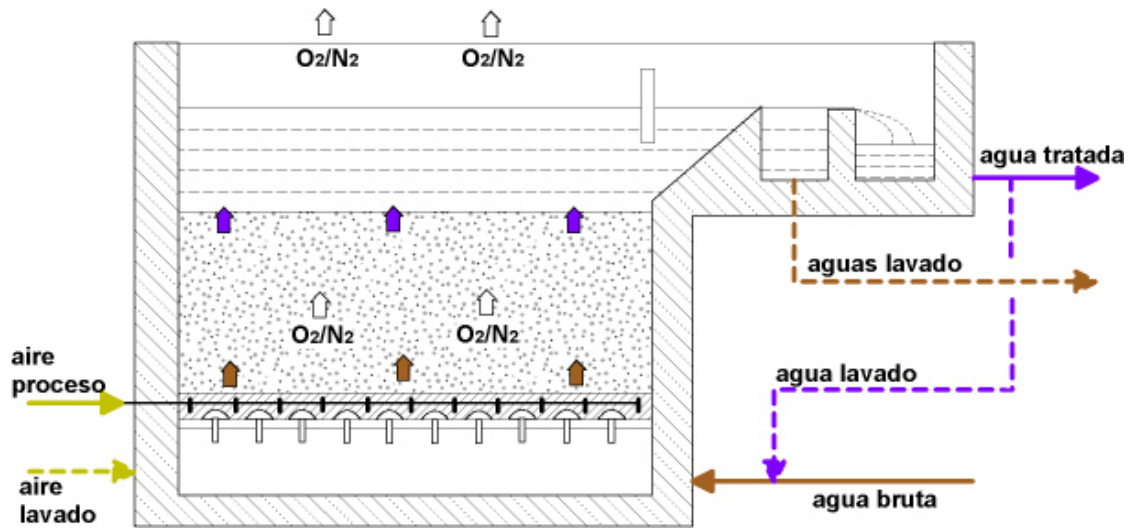


Figura 1.- Esquema de la tecnología BIOFOR® - Degrémont.

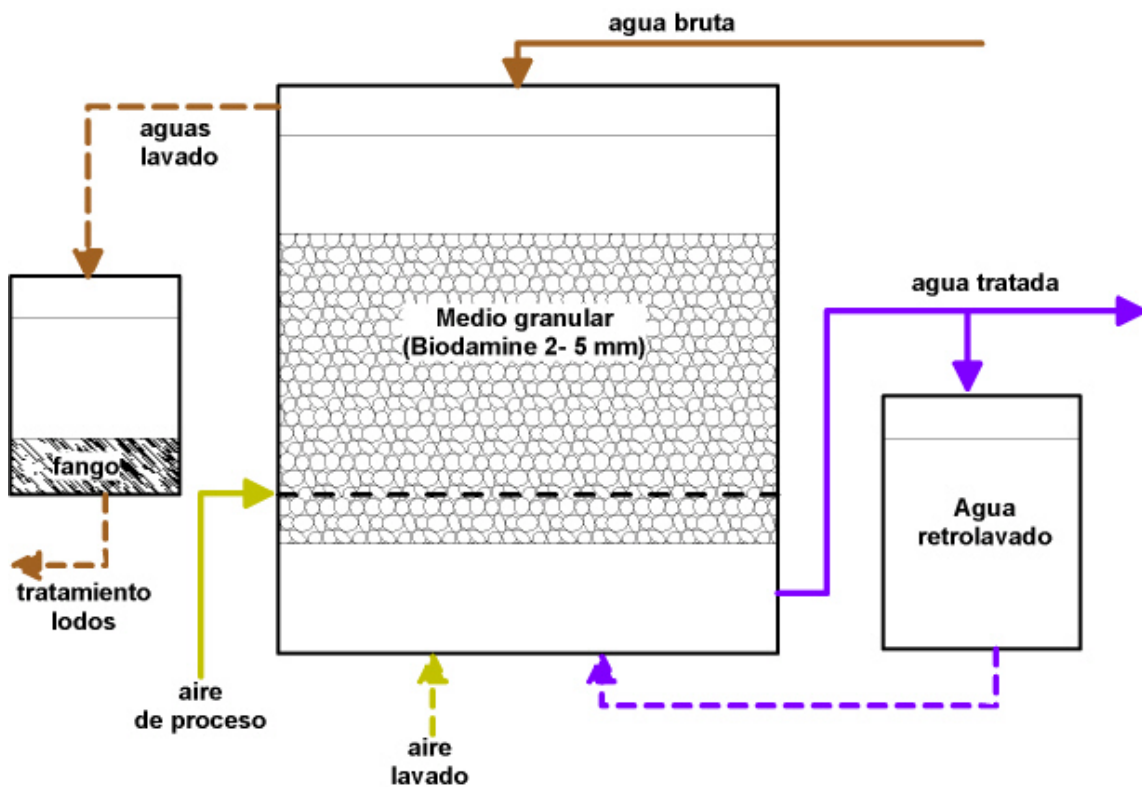


Figura 2.- Esquema de la tecnología BIOCARBONE® OTV.

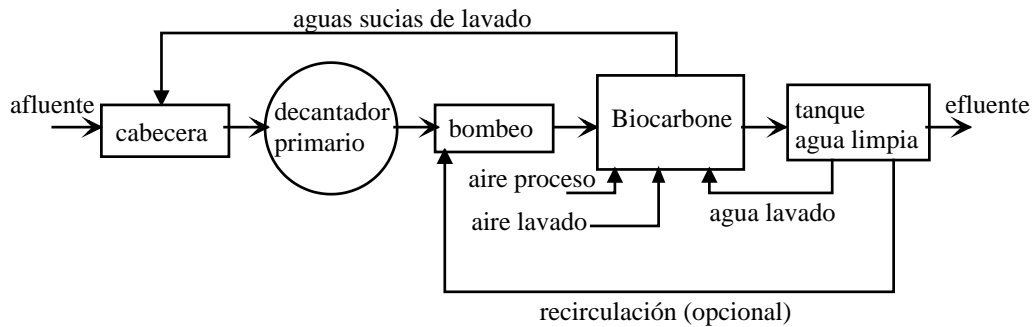


Figura 3.- Esquema de configuración de una línea de agua con tratamiento secundario basado en la tecnología Biocarbón.

BIOSTYR®

Utiliza “perlas” de poliestireno de 2 a 6 mm (Biostyrene™). Son mucho más ligeras que el agua, por lo que flotan en el seno del líquido, apretujándose en la parte superior del lecho, donde son retenidas con un falso techo provisto de boquillas que permiten la salida del agua tratada reteniendo el soporte.

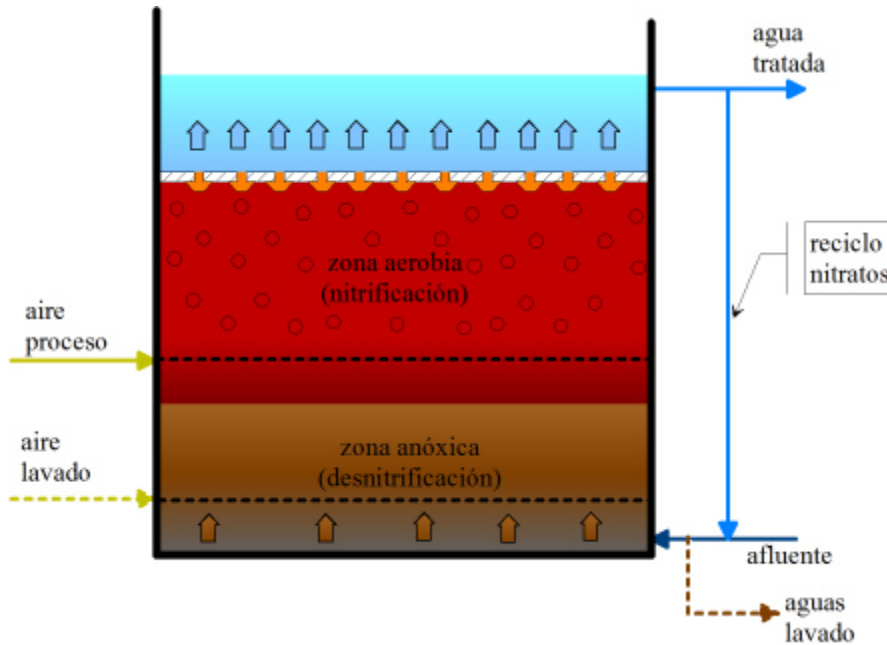


Figura 4.- Esquema del BIOSTYR de OTV para nitrificación-desnitrificación. La capa de desnitrificación puede no ser necesaria si lo que se busca es sólo la oxidación de materia orgánica y/o de amonio.

2.1.2.- Circulación del fluido

Se distinguen:

- ✓ Los reactores de flujo descendente (contracorriente) (BIOCARBONE)
- ✓ Los reactores de flujo ascendente (co-corriente) (BIOFOR, BIOSTYR)

La alimentación co-corriente facilita la circulación y la repartición del fluido, mientras que el modo contra-corriente mejora la transferencia de oxígeno.

Mediante difusores se asegura el reparto del aire insuflado. Los difusores se sitúan en el fondo del reactor (BIOFOR®) o a unos 30 cm sobre la placa que soporta el lecho filtrante (BIOCARBONE®). También, en los BIOSTYR® los difusores se instalan a una cierta distancia del fondo.

El rendimiento de la depuración depende de la cantidad de oxígeno suministrado y de la eficiencia de la transferencia de materia. La eficiencia en la transferencia de oxígeno depende significativamente de la altura de filtración, siendo posible alcanzar una eficiencia del 20 %.

2.1.3.- Lavado

Inevitablemente los biofiltros se colmatarán. Periódicamente se procede a su lavado. El lavado tiene que ser eficaz para prolongar los ciclos de funcionamiento pero conservando una fracción de la biomasa necesaria para la recuperación del proceso después del lavado.

La duración de un ciclo de depuración (carrera del filtro) es de 24 – 48 horas. Varía en función del tamaño del material filtrante, de la concentración del agua y de las cargas aplicadas.

El lavado de un biofiltro dura de 20 a 40 minutos y suele comprender 4 fases:

- ✓ Desatascamiento del lecho por insuflación de importantes volúmenes de aire.
- ✓ Desprendimiento de una parte de la biopelícula mediante un flujo mixto de agua y aire.
- ✓ Lavado propiamente
- ✓ Aclarado y evacuación de los fangos del lavado (fangos en exceso)

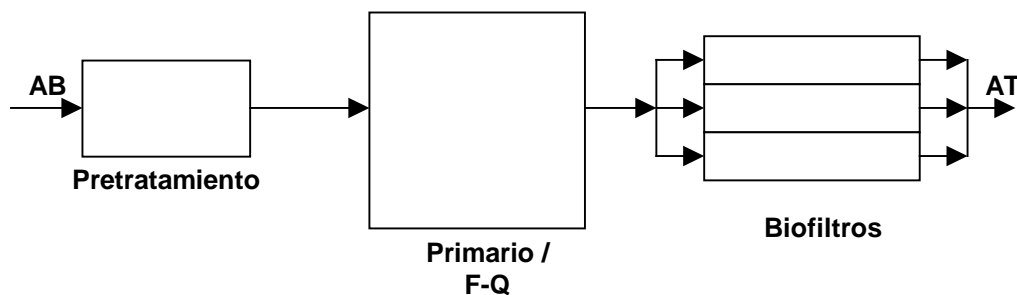
Como agua de lavado se utiliza la propia agua depurada y almacenada en un tanque. El aire de lavado es insuflado sobre la solera de los filtros y penetra en el reactor.

El funcionamiento optimizado de la biofiltración necesita de una buena adecuación entre la carga aplicada y la frecuencia de los lavados. La concentración afluente de DQO, DBO, SS, es un factor limitante de la duración de un ciclo de alimentación. Para el BIOFOR las concentraciones máximas admisibles están en el orden de 200 mg/L de SS y 400 mg/L de DQO.

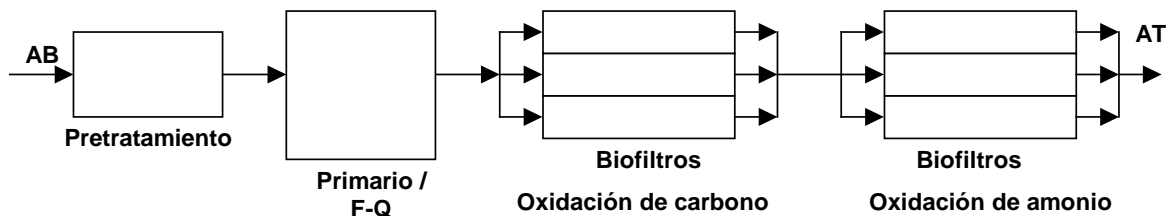
2.1.4.- Ejemplos de configuración en una línea de tratamiento

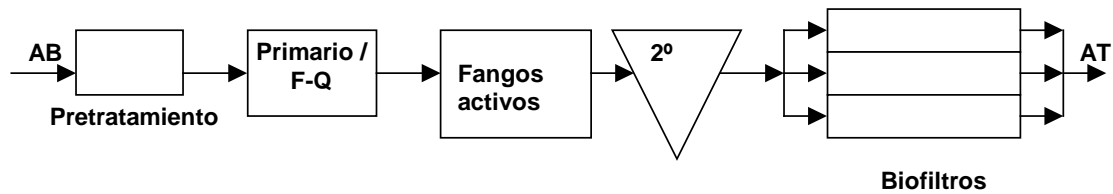
A continuación se muestran posibles líneas de tratamiento incorporando biofiltros:

Caso 1: Eliminación de materia orgánica (tratamiento secundario)



Caso 2: Oxidación de carbono y amonio



Caso 3: Tratamiento complementario (nitrificación, o desnitrificación, terciaria)**2.2.- Resumen de características de los biofiltros comerciales más comunes****Tabla 1.- Características de medio soporte y del flujo en biofiltros de marcas comerciales.**

Proceso	Tipo de flujo	Medio	Gravedad específica	Tamaño (mm)	As ^(a) (m ² /m ³)
Biobead®	Ascendente	Polietileno	0.95		
Biocarbón®	Descendente	Esquisto arcilloso expandido	1.6	2 - 6	
Biofor®	Ascendente	Arcilla expandida	1.5 - 1.6	2.7, 3.5 y 4.5	1400 - 1600
Biostyr®	Ascendente	Poliestireno	0.04 - 0.05	3.3 - 5	1000
Biolest®	Ascendente	Puzolana	1.2		

3.- CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

Tal como se ha visto, esta tecnología en el mercado se caracteriza por responder a una marca determinada. De modo que, los valores de los parámetros de diseño responden a criterios de "casa fabricante".

En cuanto a cargas de trabajo se tiene dos parámetros que caracterizan el funcionamiento de los biofiltros: la carga hidráulica superficial y la carga contaminante volumétrica. Un tercer parámetro general es el tiempo de retención hidráulica. Sin embargo, una operación fundamental para el éxito del proceso es el retrolavado, y aquí es donde se da las principales especificidades de las marcas.

- La **carga hidráulica superficial, CH**, (también conocida como velocidad de filtración) se expresa en m/h (m³/h/m²):

$$CH = \frac{Q}{A_f}$$

Donde:

Q = caudal de tratamiento (m³/h)
 A_f = superficie de filtración (m²)

- La **carga volumétrica, C_v**, se expresa en kg de contaminante/m³/d, se calcula mediante:

$$C_v = \frac{QC_i}{V}$$

Donde:

C_i = concentración afluente del contaminante i (kg/m³)
 V = volumen de reacción (m³)

- **Tiempo de retención hidráulica, TRH**, definido como:

$$TRH = \frac{V_a}{Q}$$

Donde:

V_a = volumen ocupado por el agua (m³)

El volumen ocupado por el agua puede ser un 50% del volumen de relleno del reactor. El remanente lo ocupa el material filtrante y el aire. Los tiempos están comprendidos entre 30 y 40 minutos.

3.1.- Valores típicos de los parámetros para tratamiento secundario

La carga orgánica varía de forma amplia en los biofiltros diseñados para tratamiento secundario, en un rango de 1.5 a 6 kg DBO₅/m³/d. Mientras, la carga hidráulica media suele estar en un rango de 4 a 7 m/h, y en situación punta de 10 a 20 m/h. En la tabla siguiente se presenta valores típicos para estos parámetros de diseño. La carga orgánica suele ser el criterio o parámetro limitante del diseño, debido a que lo más normal es que previamente se tenga un tratamiento primario de decantación.

Tabla 2.- Cargas típicas de biofiltros como tratamiento secundario.

Tipo de biofiltro	Carga contaminante (kg/m ³ /d)	Carga hidráulica (m/h)	Eficacia (%)
Ascendente, medio sumergido o flotante ^(a)	DBO: 1.5 a 6 SS: 0.8 a 3.5	3 a 16	DBO: 65-90 SS: 65-90
Ascendente o descendente, medio sumergido ^(b)	DQO: 4 a 11 SS: 1.1 a 5.4	Media: 1.6 a 2.9 Máxima: 4.5 a 7.1	DBO: 69 DQO: 65 (59 a 74) SS: 71 (63 a 84)

^(a) WEF (2010).

^(b) Pujol (1991). Evaluación de plantas a escala real, con Biofor® y Biocarbón® (medio: arcilla expandida)

La altura de relleno es variable, y depende las tecnologías o marcas comerciales. No obstante, un valor típico es de 3 a 4 metros. Asimismo, la superficie unitaria máxima depende de la marca, siendo un valor común un máximo de 144 m².

La producción de lodos suele ser de 0.7 a 1 kg SS/kg DBO₅ (WEF 2010) (o 0.4 kg SS/kg DQO, según Pujol 1991).

Los biofiltros tienen un elevado consumo de energía (aireación y lavados). A título indicativo la potencia media instalada es de 200 W/m³ en los filtros ascendentes (BIOFOR) y 350 W/m³ en los descendentes (BIOCARBONE). El consumo específico de energía tiene un rango de 1 a 2 kWh/kg DQO eliminado. El consumo de energía de los biofiltros significa un 65% del total consumido en la planta (Pujol 1991).

3.1.1.- Lavados

En general, se requiere un lavado diario cuando el proceso se aplica como tratamiento secundario. Esto tiene que ver con la carga de SS, grado de hidrólisis que se da al interior del lecho, producción de biomasa y capacidad de retención de sólidos por parte del lecho. El volumen de lodo que puede acumularse entre lavados es de 2.5 a 4 kg SS/m³, esto depende del medio, velocidad de filtración y temperatura del agua (Degremont, 2007).

En el lavado de biofiltros se procura una ligera expansión del lecho, y la limpieza se debe gracias a la participación conjunta de aire+agua. El aire produce mucha fricción entre partículas y desprendimiento.

La secuencia de fases en el lavado comprende: desatascamiento, limpieza con aire + agua, enjuague y evacuación de los fangos. La tabla siguiente presenta una comparativa de valores en las operaciones de lavado.

Tabla 3.- Resumen de necesidades de lavado de los biofiltros (Adaptada de WEF 2010).

Tipo de biofiltro	Velocidad de agua (m/h)	Velocidad de aire (m/h)	Duración total (min)	Volumen total de agua de lavado por filtro
Flujo ascendente, medio sumergido	20	97	50	12 m ³ /m ²
Flujo ascendente, medio flotante	55	12	16	2.5 m ³ /m ³
Flujo descendente, medio sumergido	15	90	20 a 25	3.75 a 5 m ³ /m ²

En cualquier caso, cada marca presenta peculiaridades en las operaciones de lavado. Normalmente, será necesario una interacción entre la ingeniería de diseño y el proveedor para fijar las características del lavado.

Caso de estudio a escala real Pujol (1991)

En dos EDAR con sistemas Biofor y Biocarbhone, las características del lavado fueron (Pujol, 1991):

Velocidad	Biofor	Biocarbhone
Aire (m/h)		
* Desatascamiento	70	47
* Limpieza	70	47
Agua (m/h)		
* Limpieza	40	20
* Enjuague	40	13

Los tiempos de lavado fueron de 20 a 40 minutos. La diferencia básica es que, en los filtros ascendentes (Biofor) el lavado se realizaba de una sola vez, mientras que en los descendentes (Biocarbhone) se realizan varios mini-lavados sucesivos (alrededor de 5).

La concentración de sólidos en las aguas de lavado (fangos en exceso) resultó de 500 a 1.000 mg/L, con un pH de 7,5. Los 15 primeros minutos del lavado (3 mini-lavados en los Biocarbhone) son los más eficaces.

3.1.2.- Estimación del rendimiento como tratamiento secundario

Pujol (1991) hizo un análisis detallado del funcionamiento de varios sistemas a escala real de biofiltros (Biocarbhone y Biofor), estudiando la respuesta de las unidades en régimen estacionario y frente a variaciones de carga. En régimen estacionario observó una relación lineal entre DQO efluente y la carga orgánica volumétrica:

$$DQO_{ef} = 10.6 C_v + 11.1 \quad (R^2 = 0.94)$$

Conforme a la expresión anterior, se puede obtener una DQO efluente menor que 100 mg/L con cargas de hasta 8 kg DQO/m³/d. También se observó que, en régimen estacionario, el rendimiento medio de eliminación de DQO es estable e independiente de la carga volumétrica, siendo aproximadamente de un 70%.

El aumento en DQO se debe fundamentalmente a la fracción soluble de la DQO, ya que la relación de SS efluente con la carga orgánica volumétrica tuvo la siguiente expresión:

$$SS_{ef} = 2.5 C_v + 3.2 \quad (R^2 = 0.82)$$

Para una carga de 8 kg DQO/m³/d, los SS del efluente están en torno a 24 mg/L. Estos sólidos representan unos 36 mg/L de DQO, de modo que los restantes 64 mg/L se deben a la fracción soluble de la materia orgánica que escapa en el efluente. Se alcanza un efluente con 35 mg/L de SS para cargas de hasta 12 kg DQO/m³/d.

3.2.- Valores típicos de funcionamiento para nitrificación y desnitrificación

Cuando se trata de nitrificación conjuntamente con oxidación orgánica, la carga orgánica con temperaturas bajas necesita ser limitada a un máximo de 2.5 kg DBO₅/m³/d (Rogalla *et al.*, 1990, citado en WEF 2010). Esta limitación permite alcanzar una tasa de eliminación de NTK de 0.4 kg/m³/d.

Tabla 4.- Cargas típicas para nitrificación en biofiltros.

Tipo de biofiltro	Carga volumétrica kg/m ³ /d	Carga hidráulica m/h	Eliminación %
Ascendente, medio sumergido o flotante, secundario	DBO < 1.5 a 3 SS < 1.0 a 1.6 N-NH ₃ < 0.4 a 0.6 a 10 °C < 1.0 a 1.6 a 20 °C	3 a 12	DBO: 70-90 SS: 65-85 N-NH ₃ : 65-75
Ascendente, medio sumergido o flotante, terciario	DBO < 1 a 2 SS < 1.0 a 1.6 N-NH ₃ < 0.5 a 1.0 a 10 °C < 1.0 a 1.6 a 20 °C	3 a 20	DBO: 40 – 75 SS: 40-75 N-NH ₃ : 75-95
Ascendente, medio flotante, terciario	N-NH ₃ : 1.5		
Ascendente, medio sumergido, terciario	N-NH ₃ : 1.2		



La desnitrificación puede anteceder a la etapa de nitrificación (pre-desnitrificación), o puede ir a cola de procesos (post-desnitrificación o desnitrificación terciaria).

En la siguiente tabla se recoge valores de carga para pre-desnitrificación en biofiltros.

Tabla 5.- Carga de nitrato para pre-desnitrificación en biofiltros (WEF 2010).

Tipo de biofiltro	Carga volumétrica kg/m ³ /d	Carga hidráulica m/h	Eliminación %
Ascendente, medio sumergido, etapas separadas (pre-desnitrificación + nitrificación)	N-NO ₃ : 1 a 1.2	10 a 30	N-NO ₃ : 75-85
Ascendente, medio flotante, etapa combinada anóxica/aerobia	N-NO ₃ : 1 a 1.2	12 a 21.5	N-NO ₃ : 70 sin suplemento de carbono; 85% con suplemento de carbono.

Tabla 6.- Carga de nitrato para post-desnitrificación en biofiltros (WEF 2010).

Tipo de biofiltro	Carga volumétrica kg/m ³ /d	Carga hidráulica m/h	Eliminación %
Descendente, medio sumergido	N-NO ₃ : 0.3 a 3.2	4.8 a 8.4 (promedio) 12 a 18 (punta)	N-NO ₃ : 75-95
Ascendente, medio sumergido	N-NO ₃ : 0.8 a 5.0	10 a 35	N-NO ₃ : 75-95
Ascendente, medio sumergido	N-NO ₃ : 2.0		
Ascendente, medio flotante	N-NO ₃ : 1.2 a 1.5		

3.2.1.- Revisión específica sobre las características de los BIOSTYR®

El Biostyr® se emplea para tratamiento secundario o terciario de las aguas residuales. El aire es inyectado desde la base del lecho (tratamiento secundario) o por encima del fondo (tratamiento terciario). Como el material filtrante es muy ligero (Biostyrene™), se instala en la parte superior del lecho una placa con boquillas de filtración para retener o evitar el escape del medio con el agua tratada.

El exceso de sólidos es purgado mediante lavado con agua más aire para desprendimiento del exceso de biopelícula.

La altura típica de lecho es de 3 a 4 metros. En el caso de eliminación de nitrógeno, la inyección de aire se hace a 1 m sobre el fondo del lecho. La ratio volumen anóxico/aerobio es de 1/3, pudiendo llegar a ser de hasta 2/3. El agua nitrificada es recirculada a una tasa del 200 %. La producción de malos olores es escasa o nula. Sin embargo, si hay producción de aerosoles. En la tabla siguiente se presenta criterios de diseño informados para el proceso Biostyr.

Tabla 7.- Valores típicos de carga para el diseño de Biostyr® (WEF, 1998).

Proceso	Carga de diseño
Nitrificación	1.1 - 1.3 kg NTK/m ³ /d
Nitrificación - Desnitrificación	1.1 - 1.2 kg NTK/m ³ aireado/d 1.2 kg N-NO ₃ /m ³ anóxico/d
Desnitrificación terciaria	3 kg N-NO ₃ /m ³ filtro/d

Sobre el funcionamiento de los BIOSTYR como proceso aerobio de nitrificación se ha informado los rendimientos que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8.- Rendimientos del proceso Biostyr® de nitrificación terciaria (WEF, 2000).

Parámetro	Carga (kg/m ³ /d)	Eliminación (kg/m ³ /d)	Rendimiento (%)
NTK	2.12	1.83	86
N-Amonio	1.87	1.67	89

También se ha informado la siguiente **calidad de efluente** del Biostyr® (WEF, 1998):

Proceso	Parámetro	Efluente
Nitrificación	NTK	< 5 – 10 mg/L
Nitrificación - Desnitrificación	NT	< 5 – 20 mg/L
Desnitrificación terciaria	N-NO ₃	< 2 mg/L

La producción de lodos en el caso de tratamiento terciario es relativamente bajo, de modo que los lavados son menos frecuentes, cada 36 a 48 horas.

4.- CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES

4.1.- Pretratamiento y tratamiento primario

Dependiendo del tipo de biofiltro, debería instalarse desbaste fino en varios puntos de la EDAR. En todo caso, es imperativo incorporar un desbaste fino aguas arriba de la entrada a un biofiltro que emplee boquillas de alimentación por el fondo. Un simple reja manual de un máximo de 2.5 mm de luz puede ser suficiente para proteger un biofiltro de este tipo si previamente, en el pretratamiento, se ha hecho un desbaste fino. Sin embargo, se requiere de este desbaste adicional por varias razones: el pretratamiento del agua residual bruta puede ser pobre, llegan aguas adicionales sin desbaste (p.e.: lodos de fosas sépticas, lodos importados, etc.), hay árboles alrededor, o hay canales sin cobertura.

Para una planta pequeña, con frecuencia se emplea tratamiento primario de alta carga (lamelares). Por ejemplo: tratamiento primario mejorado con la adición de químicos, decantadores lamelares, o floculación lastrada (arena) y decantación.

4.2.- Instalaciones de retrolavado

Las instalaciones y equipamiento para retrolavado de biofiltros incluyen un tanque o cámara de efluente final previo al vertido, bombas de aguas de lavado, soplantes de aire de lavado, tanque de recogida aguas de lavado, y los automatismos necesarios (válvulas, instrumentos, controles, etc.) para el arranque y funcionamiento del lavado.

En sistemas biofiltros de varias etapas con dimensiones diversas de equipamiento, unidades, etc., el dimensionamiento del lavado se hará para la situación crítica, es decir, para la unidad de mayor tamaño, con la finalidad de evitar una dispersión indeseada en las características de los equipos de lavado. Para el lavado con agua se usará el efluente final captado desde un canal de salida de la última unidad o desde un tanque final de efluente previo al vertido. El efecto de las aguas de retorno de lavado deberá ser tenido en cuenta en el diseño del sistema. En el caso de que hayan tanques intermedios de efluente para lavado (es decir, entre unidades de biofiltros), debe garantizarse el mantenimiento de un caudal hacia aguas abajo a las unidades siguientes y/o sistema de desinfección.

Cuando los tanques de recogida de aguas de lavado sean de grandes dimensiones debería preverse un sistema de agitación para evitar la sedimentación de los lodos. Los lodos de lavado pueden contener parte del medio filtrante, el cual se puede ir acumulando con el tiempo. Las bombas de retorno de aguas de lavado debería diseñarse para evitar que las partículas soporte vayan hacia las bombas y tubos de impulsión.

Las aguas de lavado, purga de lodos, se retornan a cabecera de la planta de tratamiento y los sólidos se eliminan en la decantación primaria. Esto suele mejorar el rendimiento de los decantadores primarios porque los biosólidos adsorben algo de DBO, y también mejoran las propiedades reológicas de los lodos primarios simplificando su bombeo y manipulación (WEF 2010).

Alternativamente, el flujo de retorno puede ser tratado con un sistema de separación específico. Esto puede ser de interés sobre todo en grandes instalaciones (más de 100.000 m³/d), en las que los decantadores primarios existentes pudieran tener limitaciones para el manejo de estos lodos, o si comprende sistemas de biofiltros de

varias etapas en serie. Diferentes opciones tecnológicas se podrían emplear, como la floculación lastrada, un sistema FAD, etc.

4.3.- Aireación

Entre los sistemas de distribución de aire de proceso se tiene (WEF 2010):

- Simples tuberías perforadas a intervalos regulares, que se colocan en el interior del medio o cerca del fondo del filtro. Se trata de un sistema de aireación de burbuja gruesa.
- Sistema de difusores montados sobre una red de tuberías colocada en el fondo del reactor para conseguir una buena distribución del aire a baja velocidad de aireación para mejorar la eficiencia de la transferencia de oxígeno.
- Inyección de aire bajo el fondo, normalmente usado para airear el filtro durante el retrolavado, pero también puede usarse durante la filtración. Se basa en el uso de boquillas para la difusión de aire, similar a los sistemas usados para el lavado de filtros en potabilización de aguas. El sistema es muy eficiente, pero requiere limpieza química periódica para prevenir o minimizar el crecimiento biológico que puede obstruir los orificios de aireación, lo cual produciría una pobre distribución del aire y un incremento del consumo de energía.

Hay varios factores que complican el control de la aireación del proceso:

- En general, los biofiltros funcionan en flujo pistón, de modo que la concentración de oxígeno disuelto (OD) en la parte superior del filtro no representa el OD dentro del medio.
- La transferencia de oxígeno no solo tiene lugar desde el seno del líquido, sino que también se produce desde las propias burbujas de aire a través de la interfase biofilm/aire, y esto no es medido o controlado mediante una sonda de OD.
- En los sistemas de aireación mediante malla de tubos perforados de burbujeo grueso, el flujo mínimo requerido para una buena distribución del aire puede exceder las necesidades del proceso.

La selección de la soplante de aire es un punto muy importante. En la medida que los sólidos se acumulan en el medio, aumenta la pérdida de carga por rozamiento, y esto afecta al flujo de aire. En un sistema de varias unidades, la unidad o unidades recién lavadas tendrán menos rozamiento y por lo tanto recibirán más caudal de aire. Este desequilibrio puede minimizarse usando soplantes individuales, es decir, una por filtro. Sin embargo, en grandes sistemas esto habrá que corregirlo con el uso de medidores de caudal de aire (midiendo velocidad, presión y temperatura). El caudalímetro permite el control de una válvula reguladora que equilibra el reparto entre las unidades de filtración.

4.4.- Instalaciones para suministrar materia orgánica exógena o suplementaria

En sistemas de desnitrificación terciaria, y en algunos de pre-desnitrificación, se debe dosificar una fuente externa de carbono. En general, suele ser metanol esta fuente. Actualmente, se tiene en consideración otras fuentes: etanol, ácido acético y azúcares en disolución.

El control de la dosis de carbono es crucial para la desnitrificación terciaria. Si hay un exceso de dosis, perjudica la calidad del efluente en cuanto a DBO, y en caso contrario, déficit de dosis, es posible que se incumpla el límite de nitrato o de nitrógeno total. Así, hay varias alternativas para controlar la dosis de carbono externo:

- Control manual: todo el sistema de dosificación se ajusta y explota manualmente.
- Control basado en la concentración afluente de nitrato y en el grado necesario de eliminación de nitrato. Se determina la dosis media de carbono. El sistema es programado para modular o ajustar el bombeo de la solución de carbono a las variaciones del caudal de agua residual. Este método es aplicable sobre todo en tiempo seco.
- Control basado en la medición de nitrato afluente y de caudal de tratamiento. La dosis se basa en la combinación de caudal y concentración (flujo de nitrato), por lo tanto este método sirve tanto en tiempo seco como lluvioso.
- Control de afluente y efluente (retroalimentación). Es el nivel más complejo de control, y en general forma parte de la oferta de los suministradores de los equipos. Algunos se basan solo en nitrato y caudal, pero otros incluyen concentración de nitrato y de OD.

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

Chang et al. (2002) explotaron un biofiltro a escala piloto con relleno de zeolita natural durante 5 meses para el tratamiento del agua residual procedente de una industria textil en Seúl – Corea. La composición promedio del agua residual real fue (en mg/L, excepto el color): DQO = 2150; DBO5 = 1630; SS = 63; NT = 72; y Color = 740 (en unidades de color). La industria procesa fibras naturales (lana y algodón) y sintéticas (poliéster, nilón, poliacrílico y poliamida). El reactor de biofiltro tenía una superficie de 1.05 m² y un volumen de relleno de 3.15 m³ (H = 3.0 m). El volumen vacío fue de 2 m³. La gravedad específica de la zeolita fue de 1,42. El caudal de tratamiento fue de 12 m³/d. El biofiltro fue capaz de eliminar hasta un 99% de la DBO; 92% de DQO; 74% de SS y 92% de NT, bajo una carga hidráulica de 1.83 m/h. Mientras, la reducción de color fue del 78% debido a la gran capacidad de adsorción de la zeolita.

Liu et al. (2008) para el tratamiento terciario del efluente secundario de una planta de tratamiento del sector textil emplearon un biofiltro aireado relleno de dos materiales. El lecho tenía un volumen de 15.7 litros, el 50% del cual era de *ceramsite* y el remanente de CAG. La *ceramsite* es un mineral no-metálico de gran porosidad y elevada superficie específica. La capa de *ceramsite* filtra y degrada materia orgánica y permite aligerar la carga para la capa de CAG la cual adsorbe la materia orgánica no-degradable, y asegura una calidad del agua para reutilización. En el caso de la *ceramsite* sus características eran: diámetro = 2 a 3 mm; densidad = 740 a 790 kg/m³; superficie específica 3,99 m²/g. El CAG mientras: diámetro = 1 a 2 mm; densidad = 460 a 510 kg/m³ y superficie específica = 960 m²/g. La carga hidráulica se controló en un rango de 0.13 a 0.78 m/h. La composición media del efluente secundario (afluente del biofiltro bi-capa) fue (en mg/L): DQO = 57; DBO = 12; N-NH₄⁺ = 8; NT = 14; SS = 33 y pH = 7.2. Bajo condiciones estacionarias el sistema consiguió un efluente de buena calidad en DQO, N-NH₄⁺ y NT: 31, 2 y 8 mg/L, respectivamente.

Xujie et al. (2009) usaron una línea en serie de: ozonización más biofiltro aireado; para decolorar y reducir la DQO de un agua residual conteniendo rojo reactivo X-3B, un tinte "azo". La decoloración fue total después de un tiempo de contacto de 120 minutos con una concentración de O₃ de 34.08 mg/L, y en ese periodo la ratio DBO₅/DQO pasó de 0.102 a 0.406, es decir, el agua se tornó más biodegradable, lo cual ayudó a que sea más eficaz el proceso biológico para la reducción de la DQO. Bajo las siguientes condiciones: gas/líquido = 3; carga hidráulica = 4.8 m/d; T = 20-25 °C, ratio másico ozono/tinte = 4.5, y pH = 11; la concentración de DQO y de color alcanzadas fueron de 40 mg/L y 20 Pt-Co, respectivamente, lo cual significó un rendimiento de 97% en decoloración y 90% en DQO.

Amaral et al. (2014) evaluaron un sistema biológico conformado en serie por un reactor UASB y un reactor de biofiltro aireado (BF) diseñado para eliminar color y DQO de un agua residual textil real procedente de una industria de lavandería en Pernambuco (Brasil). Los reactores con forma cilíndrica tuvieron un diámetro de 40 cm; el UASB con una altura de 2 m y un volumen de 250 litros, mientras que el biofiltro tuvo una altura de 1,50 m y una capacidad de 187 L, y se relleno con arcilla expandida pseudo-esférica (diámetro = 2 cm; densidad = 0,389 g/m³, y absorción de agua de un 10.8%). El sistema fue explotado durante 335 días con TRH de 14 h (8 h UASB + 6 h BF) a 21 h (12+9 horas). Las mejores eficiencias en reducción de color fueron del 30% en el USAB y del 96% en el sistema global. El mejor rendimiento del biofiltro se achacó al fenómeno de adsorción. Por otra parte, los autores concluyeron que elevadas concentraciones de sulfato (< 300 mg/L) en el agua residual deterioraron la reducción del color. La mayor eficacia del sistema en reducción de DQO fue del 71%. En el UASB se produjo precipitación de azufre (98%) y de algunos metales. Sin embargo, el azufre precipitado fue posteriormente oxidado en el biofiltro aireado. El sistema también presentó una reducción de la toxicidad del agua residual, la cual se midió con ensayos de inhibición de *Daphnia magna*.

6.- PARÁMETROS Y ESTRATEGIAS DE CONTROL

Los biofiltros aireados realizan en un solo equipo las dos operaciones del tratamiento secundario: oxidación de la materia orgánica y retención o eliminación de los sólidos en suspensión (clarificación del agua). Así, en el efluente de un biofiltro se debe controlar el nivel de materia orgánica (DBO, DQO) y de sólidos en suspensión (SS, turbidez).

Mediante el uso de sondas en continuo tanto para medir materia orgánica a través del parámetro SAC-254 como sólidos en suspensión o turbidez se agiliza y facilita el control del proceso.

Adicionalmente, es de importancia el control de la concentración de oxígeno disuelto (OD). Para realizarlo se usará una sonda de OD. En las plantas de mayor tamaño la aireación suele estar automatizada, de manera que, en función de la concentración de OD, los equipos de aireación se arrancarán o pararán. Además, si se dispone de variadores de frecuencia se regulará el caudal de aire suministrado.



7.- PROBLEMAS DE EXPLOTACIÓN

Un 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.

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.

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

- AMARAL, F. M.; KATO, M. T.; FLORÊNCIO, L; GAVAZZA, S. (2014). Color, organic matter and sulfate removal from textile effluents by anaerobic and aerobic processes. *Bioresource Technology* 163: 364–369.
- BROWN and CALDWELL (2005). "Final biological aerated filter (BAF) pilot study. City of San Diego". Executive Summary. Informe para la ciudad de San Diego de la evaluación del proceso de biofiltro aireado como alternativa de tratamiento secundario para la EDAR de Punta Loma. P: _Common\ WP\ Jobs\ 124901\ I03422 Final BAF Pilot Study Rpt.doc.
- CEDEX (1992). "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.
- CONDREN, A. (1990). "Technology assessment of the biological aerated filter". Project summary. EPA/600/S2-90/015. US EPA, Risk reduction engineering laboratory: Cincinnati, OH.
- CHANG, W-S; HONG, S-W; PARK, J. (2002). Effect of zeolite media for the treatment of textile wastewater in a biological aerated filter. *Process Biochemistry* 37: 693–698.
- DEGREMONT (2007). "Water treatment handbook". 7th ed.; Lavoisier SAS: France.
- GRADY, L.E., DAIGGER, G.T., LIM, H. (1999). "Biological wastewater treatment", 2nd. Edition. Marcel Dekker: New York.
- GRADY, L. E., DAIGGER, G. T., LOVE, N. G., FILIPE, C. D. M. (2011). "Biological wastewater treatment", third edition. CRC Press: Boca Raton, London, N. York.
- HARREMOËS, P., HENZE, M. (1995). "Biofilters". En: *Wastewater treatment. Biological and Chemical Processes*. Springer-Verlag, Berlín.
- IWAI, S., and KITAO, T. (1994); "Wastewater treatment with microbial films". Tecnicomic: Suiza.
- LIU, F.; ZHAO, CH-CH.; ZHAO, D-F.; LIU, G-H. (2008). Tertiary treatment of textile wastewater with combined media biological aerated filter (CMBAF) at different hydraulic loadings and dissolved oxygen concentrations. *Journal of Hazardous Materials*, 160: 161–167.
- PUJOL, R. (1991). "L'Épuration par Biofiltration" Premiers constants. Etude Inter Agences 1991. Ministère de Agriculture et de la Forêt. Centre National du Machinisme Agricole du Génie Rural Des Eaux et des Forêts. Lyon.
- RITTMANN, B. E.; and McCARTY, P. L. (2001). "Biotecnología del medio ambiente. Principios y aplicaciones". McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U.: Madrid.
- RODRÍGUEZ, A.; LETÓN, P.; ROSAL, R.; DORADO, M.; VILLAR, S.; SANZ, J. (2006). "Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales". Fundación para el conocimiento madri+d, CEIM: Madrid.
- ROGALLA, F., SIBONY, J., LACAMP, B., HANSEN, F. (1991) "Aerated biofilters – Recent European Examples" IWEM Scientific Section Symposium in Advanced Sewage Treatment: Londres.
- ROGALLA, F., SIBONY, J. (1992) "Biocarbón aerated filters – Ten years after: past, present, and plenty of potential". Water Quality International' 92. Washington, D.C.
- STOWA (2007). www.stowa-selectedtechnologies.nl/Sheets/Sheets/Biostyr.Process.html (11-10-07)
- WEF (1998). "Biological and chemical systems for nutrient removal".
- WEF (2000). "Aerobic fixed-growth reactors". Water Environment Federation: Alexandria VA (USA).



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

XUJIE LU, X.; YANG, B.; CHEN, J.; SUN, R. (2009). Treatment of wastewater containing azo dye reactive brilliant red X-3B using sequential ozonation and upflow biological aerated filter process. *Journal of Hazardous Materials* 161: 241–245.



ANEXO 1

ESTIMACIÓN DE SUPERFICIE NECESARIA

SUPERFICIE NECESARIA PARA REACTOR BIOLÓGICO

En la siguiente tabla se presenta la demanda de superficie para un reactor biológico de biofiltro 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 DBO₅ homogenizada = 300 mg/L
- Concentración de DQO homogenizada = 1000 mg/L

Los criterios principales de diseño serán la carga orgánica y la velocidad de filtración:

- 5 kg DBO₅/m³/d
- 10 kg DQO/ m³/d
- 3 m/h

La superficie necesaria dependerá de la altura de relleno que se adopte. En todo caso, esta no será inferior a 3.0 metros.

Así, se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 1.- Estimación de superficie necesaria para un biofiltro aireado sumergido en función del caudal a tratar

Caudal	Volumen	Superficie
(m ³ /d)	(m ³)	(m ²)
200	20	7
1000	100	33
2000	200	66
4000	400	132



ANEXO 2

DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE UNIDADES DE PROCESO



Figura 1.-
Sistema de biofiltros de la tecnología Biostyr



Figura 2
Sistema de biofiltros aireados de la tecnología Biofor



Figura 3
Sistema de biofiltros aireados de la tecnología Biocarbone



Figura 4
Sistema de biofiltros aireados prefabricado en estructura metálica para caudales de hasta 1000 m³/d.