

DEPURACIÓN DE AGUAS CON FILTROS INUNDADOS. UTILIZACIÓN DE NUEVOS MATERIALES

Montserrat Zamorano y Ernesto Hontoria

Resumen:

En este trabajo se recogen los resultados obtenidos al estudiar dos nuevos materiales para su utilización como soportes en lechos inundados, aplicados en la depuración de aguas residuales urbanas. Al elegir los materiales se pensó en la posibilidad de utilizar residuos procedentes de distintas actividades humanas, concretamente plástico reciclado de coberturas agrícolas y residuos de fábricas de ladrillos, tratados y seleccionados de forma adecuada para obtener una granulometría, permeabilidad y degradabilidad determinada y uniforme. Los resultados obtenidos muestran rendimientos de eliminación del 86% en DBO_5 y del 94% en SS, con el relleno plástico y del 92% en DBO_5 y del 91% en SS con el relleno cerámico. Esto significa el buen funcionamiento y posible utilización de estos materiales como soportes de filtros biológicos inundados en la depuración de aguas, aunque es necesario llevar a cabo algunas mejoras en los materiales y en el funcionamiento del sistema para conseguir resolver algunos problemas detectados.

Palabras clave: depuración, aguas residuales, biofiltros, filtros inundados, lechos sumergidos.

INTRODUCCIÓN

Los filtros biológicos inundados son unos sistemas de depuración que están consiguiendo buenos resultados en el tratamiento de aguas residuales, proporcionando rendimientos que pueden alcanzar el 95% en eliminación de DBO_5 y del 90% en eliminación de SS. (Dillon and Thomas. 1989).

Su utilización presenta, entre otras, las siguientes ventajas frente a otros sistemas como los lechos bacterianos y los fangos activos (Hontoria et al, 1995; Vedry et al, 1993):

- El sistema permite combinar la reducción de la contaminación biológica con la clarificación del agua, eliminando la decantación secundaria. Trabaja con cargas orgánicas e hidráulicas mayores. Todo esto se traduce en reducciones del volumen del reactor biológico de hasta cuatro veces con respecto a otros sistemas y hasta más de dos veces la superficie de la instalación.

- Se puede aplicar tanto para la eliminación de contaminación orgánica como para la eliminación de materia nitrogenada amoniacal.
- Aumenta la flexibilidad de la depuración.
- Se consigue una puesta en marcha del sistema en un corto período de tiempo.
- Acepta mayor cantidad de inhibidores, así como una menor relación DBO_5/DQO .
- Facilidad para automatizar este sistema.
- Eliminación del problema de flotabilidad de fangos.
- Reduce el consumo energético para la aireación del reactor.

Las actuales investigaciones en torno a los filtros biológicos inundados se centran en el estudio de nuevos materiales que permitan mejorar los niveles de depuración y que sean una alternativa a los que hasta el momento se están utilizando y que tienen unos elevados costes de adquisición, incrementando los costes de primera instalación de este tipo de plantas.

Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Granada. 180071 Granada. Telf.: 958 24 61 53. Fax: 958 24 61 38.

E-mail: zamorano@ugr.es, hontoria@ugr.es

Artículo recibido el 18 de junio de 1997, recibido en forma revisada el 5 de marzo de 1999 y el 24 de enero de 2000 y aceptado para su publicación el 8 de mayo de 2000. Pueden ser remitidas discusiones sobre el artículo hasta seis meses después de la publicación del mismo siguiendo lo indicado en las "Instrucciones para autores". En el caso de ser aceptadas, éstas serán publicadas conjuntamente con la respuesta de los autores.

¿QUÉ SON LOS FILTROS BIOLÓGICOS INUNDADOS?

Dentro de los sistemas de depuración biológicos más utilizados se encuentran los basados en procesos de biopelícula, en los que los microorganismos encargados de la depuración se adhieren a un soporte inerte. La aplicación más conocida son los lechos bacterianos en los que el medio de soporte suele ser **grava, escoria** en pequeñas plantas y más recientemente **plástico moldeado** de diversas formas para todo tipo de población que buscan mayor superficie específica y resistencia. En este caso la concentración de biomasa responsable de la depuración va a depender de la superficie específica del medio soporte, que debe tener un índice de huecos suficiente que permita el paso del aire para mantener las condiciones aerobias en todo el lecho. (González y Duque, 1992).

El lecho bacteriano tiene como ventaja la aceptación de aguas difícilmente biodegradables, permitiendo alcanzar unos buenos rendimientos de eliminación de DBO_5 , aunque con la aplicación de cargas volúmicas relativamente bajas, siendo por tanto necesarios volúmenes de reactor importantes, traducándose en grandes necesidades de superficie para poblaciones elevadas, a las que hay que sumar la necesidad de una decantación secundaria. Con la finalidad de minimizar estos "inconvenientes" se ha diseñado el denominado *filtro biológico sumergido aireado*, que difiere de un filtro percolador, que funciona con el medio relleno sumergido, empleándose un medio granular de tamaño aproximadamente 5 mm. y una aireación forzada. En este sistema se produce una unificación en el mismo reactor de la eliminación de materia orgánica y filtración permitiendo de esta forma la posible eliminación de la decantación secundaria. En este sistema se introduce en el reactor agua residual, tras una decantación primaria, bien por la parte superior o inferior del lecho, según sea un filtro con flujo descendente o ascendente, mientras que el aire se introduce por la parte inferior del mismo. El agua y el aire funcionan por tanto a contracorriente o a co-corriente, respectivamente (Rogalla y Sibony, 1992). Ver figuras 1 y 2 (Hernández Lehmann, 1997).

Un relleno adecuado debe proporcionar una superficie específica elevada así como una estructura porosa que permita un importante crecimiento y desarrollo de la biomasa encargada de la depuración hasta cuatro veces superior a la concentración que se consigue con los sistemas de crecimiento en suspensión.

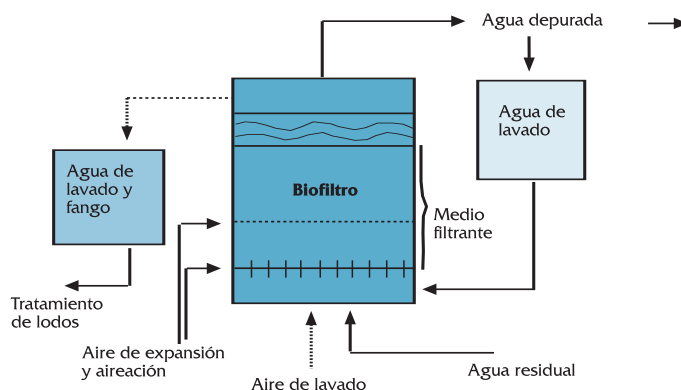


Figura 1. Filtro a co-corriente

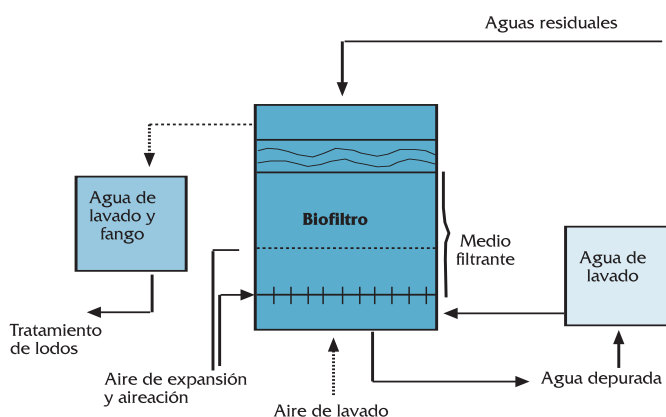


Figura 2. Filtro a contracorriente

A medida que el filtro funciona se va produciendo una colmatación del mismo, tanto por los sólidos en suspensión retenidos, como por el crecimiento de la biomasa que va ocupando los espacios libres, poniendo en peligro el estado aerobio del filtro así como el paso del efluente, por lo que van a ser necesarios los lavados periódicos de los filtros biológicos, para lo cual se utiliza un automatismo de lavado que se dispara cuando se alcanza una pérdida de carga previamente establecida. El aire y el agua utilizados para el lavado se introducen por la parte inferior del lecho (Canler y Perret, 1993).

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES DE SOPORTE DE LA BIOPELÍCULA

Relleno plástico

La gran preocupación medioambiental de nuestro grupo de trabajo hace que se busquen materiales reciclados para su uso como soportes, que sirvan de base para el crecimiento de la biopelícula

y además cumplan con todos los condicionantes de los filtros biológicos inundados. De esta forma se apoya la nueva política en el tratamiento de residuos: fomentar la reducción en la producción de los mismos, para lo que se optará por la valorización y el reciclaje (Zamorano et al, 1996).

España se sitúa entre los principales productores europeos de productos hortofrutícolas y, en consecuencia, también entre los mayores consumidores de plásticos agrícolas. Esto exige dar un tratamiento adecuado a los residuos de este tipo de materiales una vez finalizada su vida útil. El reciclado de estos plásticos consigue un doble beneficio ambiental: reducir el volumen de residuos que van a vertedero y obtener nuevos plásticos mediante reciclaje lo que conlleva menores consumos de materias primas y ahorros energéticos. Según datos de ANARPLA (Asociación Nacional de Recicladores de Plásticos), en 1994 se reciclaron en España 18.230 Tm de plásticos procedentes del sector agrícola, volumen que representa un 14,1% sobre las 128.815 Tm de plásticos que este sector consumió ese mismo año. La capacidad de reciclaje actual se eleva hasta 34.000 Tm, utilizándose para filmes, tubos y accesorios principalmente. Andalucía es la región donde más extendido está el concepto de la plasticultura, puesto que esta comunidad concentra el 72% de la superficie dedicada a ella siendo Almería la provincia más relevante con el 58% de la superficie española dedicada a invernaderos, Sevilla el 37% de acolchado de suelos y Huelva el 63% de los minitúneles. (PuntoMarket, 1998)

El único reciclaje de plásticos que se practica en España es el llamado mecánico, más viable económicamente y tecnológicamente que el químico. El proceso de reciclaje de plásticos agrícolas se inicia con la recepción y almacenamiento de la mercancía. Posteriormente se realiza el triturado en pequeños fragmentos de 20 a 30 mm. de diámetro que son lavados en balsas de agua, donde se decantan las partículas ajenas al plástico, luego son secados y por último se obtiene una granza mediante un proceso de extrusión, acompañado de calor, realizándose la homogeneización de distintos lotes. (PuntoMarket, 1998)

Uno de los materiales utilizados en esta investigación ha sido la granza (figura 3) procedente del reciclado de plásticos agrícolas proporcionado por E.G.M.A.S.A (Los Palacios - Sevilla). Las características de este material se resumen en los siguientes aspectos:

- Densidad 0'93-0'970 g/cm³
- Índice de fluidez 0'45-0'8 g/10 min
- Cenizas < 4'5%
- Color base natural y negro
- Espesor 1 mm
- Diámetro 5 mm
- Tamaño uniforme de todas las partículas

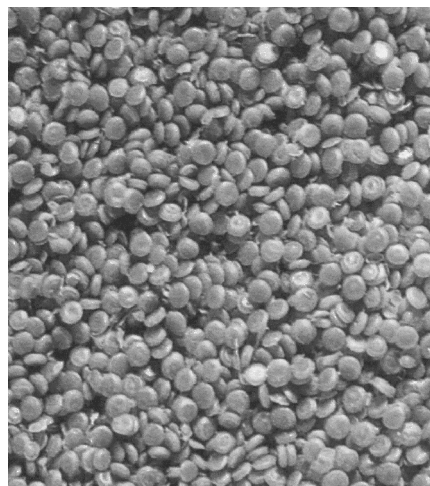


Figura 3. Relleno plástico

Relleno cerámico

Otro tipo de residuos que está adquiriendo mucha importancia es el procedente de las demoliciones. Son residuos inertes y voluminosos que reducen la vida útil de los vertederos, por lo que es necesario fomentar su reciclado para evitar el vertido.

Dentro de este tipo de residuos se optó por los de tipo cerámico, concretamente ladrillo, dada su naturaleza arcillosa. Este material fue proporcionado por la empresa CERAMICAS SILES (Jun - Granada) y tras unas fases de machaqueo, selección granulométrica en distintos tamaños, lavado y secado, el material resultante tuvo las siguientes características:

- Densidad real 2'3 g/cm³
- Densidad saturada 2'9 g/m³
- Estructura porosa
- Granulometría de 2 a 7 mm.

Resina impermeabilizadora

Con la finalidad de conseguir una disminución de la densidad saturada del relleno cerámico se utilizó como material impermeabilizante una resina de base silano-siloxano, en un disolvente orgánico, producto que fue proporcionado por la empresa FOSROC, S.A. Este material se utiliza en una am-

plia gama de estructuras de ingeniería civil y de edificación. Es un sistema de doble protección, el cual alcanza mediante combinación sinérgica de una imprimación penetrante hidrofóbica y una capa de acabado. La imprimación aporta la principal protección contra la penetración de cloruros e iones sulfatos. La capa de acabado refuerza las propiedades de la imprimación y protege contra la carbonatación y polución, a la vez que permite la transpiración; por otro lado todas las arcillas tienen nitratos que aparecen, en cantidad mínima, al contacto con el agua; con la impermeabilización se impide la aparición de estos nitratos.

Planta piloto

La investigación se llevó a cabo en una planta piloto a escala semitécnica ubicada en la Depuradora Sur de Granada que la empresa EMASAGRA tiene en esta ciudad. Esta planta piloto está formada por un filtro vertical de metacrilato transparente, de 30 cm. de diámetro y 3'70 m. de altura, que hace la función de reactor biológico y donde se introduce el material filtrante. El agua, procedente de una decantación primaria, se incorpora al tratamiento por la parte superior el tubo o bien por la parte inferior, según se trabaje en régimen de flujo descendente o ascendente respectivamente, permitiendo además la alternancia de flujo. Por la parte inferior del filtro se inyecta el aire de proceso mediante difusores de burbuja gruesa que el material de relleno se encarga de romper y distribuir, creándose de esta forma las condiciones aerobias que se precisan para que pueda desarrollarse la biopelícula responsable de la depuración. (Ver figura 4).



Figura 4. Planta piloto

Los lavados se pueden realizar de forma manual o automática gracias a un sistema de sensores que permite que se disparen los ciclos de lavado cuando la pérdida de carga alcanza un valor previamente establecido. Los lavados se realizan con agua y aire desde el fondo del lecho. El proceso de lavado del filtro es el siguiente:

1. Un sensor capta la elevación de la lámina de agua e inmediatamente cierra la salida del agua depurada y la entrada de aire de proceso.

2. Se introduce aire de lavado, regulable tanto en tiempo como en caudal, permitiendo un esponjamiento del material de relleno y por tanto una descolmatación del mismo, separando el material.

3. Terminada la aireación del filtro se introduce agua y aire de lavado con caudal también regulable, hasta alcanzar la altura del sensor nº 1, consiguiendo separar parte de la biopelícula del soporte; este proceso es sumamente delicado ya que un exceso o efecto puede producir, respectivamente, una tardanza de puesta en marcha y de los rendimientos adecuados, o una colmatación rápida.

4. Finalmente se vuelve a introducir agua de lavado hasta que sifone el conducto de limpieza, quedando después del sifonado el agua a la altura de la alcachofa de entrada al sifón, y se detecta en otro sensor que actúa sobre el contador de lavados, volviendo a iniciarse un nuevo ciclo, así hasta consumir los ciclos de lavado que hay que llevar a cabo en cada uno de ellos.

En número de ciclos, el caudal de agua y aire de lavado, así como la pérdida de carga fijada para iniciar el lavado, son variables que pueden modificarse y que normalmente están optimizados para cada tipo de material en particular.

Decantador secundario

El agua a la salida del filtro se recoge en un tanque que hace la función de decantador secundario y de depósito para el agua tratada que se utilizará en los lavados del filtro. Los parámetros de funcionamiento del decantador son los propios de uno de tipo estático:

- Tiempo de retención 2-4 horas
- Velocidad ascensional 1-2 m/h

Agua de proceso

Como se ha indicado estos trabajos se lleva-

ron a cabo en una de las instalaciones que depuran las aguas residuales de la ciudad de Granada; se trata de una instalación tipo fangos activos. El agua utilizada para la planta piloto procede de la decantación primaria de la instalación principal con la siguiente caracterización:

	DBO ₅	SS
Valor medio a la salida del decantador primario (entrada a planta piloto)	157 mg/l	77 mg/l

Toma de muestras y procedimientos analíticos

Fase I: Relleno plástico

Se trabajó con una altura de filtro de 1,80 m y con alimentación de agua de proceso por la parte superior e inferior, es decir, a contracorriente y co-corriente respectivamente.

Las muestras se tomaron directamente de la salida del filtro biológico, por la parte inferior del mismo, para lo que se utilizó un automatismo que permitía el muestreo integrado, con toma de muestras cada 6 horas. Gracias a esto tomó una muestra integrada diaria.

Con flujo descendente fue necesario dejar decantar la muestra durante dos horas antes de realizar la analítica ya que se recogía mucho fango por la parte inferior del lecho.

Con flujo ascendente no fue necesaria la decantación o clarificación secundaria.

Los parámetros analizados fueron pH (in situ), DBO₅, DQO y SS, para lo que se utilizaron las técnicas analíticas establecidas por el STANDARD METHODS. (APHA, 1992)

Fase II: Relleno cerámico

Se trabajó con una altura de filtro de 1'80 m. y con granulometrías de 2 a 5 mm y de 5 a 7 mm. Se estudió tanto el funcionamiento del filtro a co-corriente como a contracorriente.

Las muestras se tomaron también directamente en la salida del filtro biológico tal y como se ha descrito para la Fase I.

Además de esta toma de muestras diaria se hicieron varias campañas analíticas consistentes en

muestreos cada dos horas durante jornadas de 12 horas, tanto del agua de entrada al lecho como de salida con la finalidad de conocer la capacidad de recuperación del mismo tras los lavados. También se tomaron muestras a distintas alturas del lecho (0, 0'5, 1, 1'5 y 1'8 m del punto de entrada de agua al reactor) con la finalidad de optimizar la altura de relleno.

Los parámetros analizados son los mismos que los indicados en la Fase I. También se estudió la sedimentabilidad del fango.

OBJETIVOS

Los objetivos que se fijaron para este trabajo son los siguientes:

1. Estudio del comportamiento de los materiales en aguas residuales.

El estudio del comportamiento de los materiales debe ser el primer paso a estudiar, dada la agresividad de las aguas residuales y las características de los materiales. Este estudio nos dará a conocer:

- El comportamiento a la disgregación
- El comportamiento frente a los lavados
- La fijación de biopelícula
- La capacidad de retención de SS, es decir, de actuar como filtro

2. Comprobación del valor óptimo de los parámetros de diseño, atendiendo a las variables presentadas.

El conocimiento de la interrelación de las diferentes variables que intervienen en el proceso junto con los máximos rendimientos, dará valores de uso en los parámetros de diseño. Este diseño y optimización se realizó con los dos materiales indicados. En este proceso de optimización se pretenderá también deducir la banda de funcionamiento de la carga orgánica e hidráulica para cada uno de los rellenos.

3. Optimización de los ciclos de lavado en cada uno de los casos.

La optimización de los procesos de lavado suponen un aspecto muy importante en la fase de explotación del sistema.

4. Estudio de la posibilidad de eliminación del tratamiento de afino o clarificación con los rellenos considerados.

Esto permitiría importantes reducciones de superficie en la instalación de estas depuradoras, por lo que serían aptas para lugares con problemas de disponibilidad de terrenos o donde es necesario ubicar las depuradoras dentro de edificios para minimizar el impacto ambiental.

RESULTADOS

Relleno plástico

Los resultados y conclusiones que pudieron obtenerse son los siguientes (Zamorano, 1996):

1.- Este material al tener una densidad menor que 1 presenta los siguientes problemas de funcionamiento:

- Flota en el agua, por lo tanto no se puede hablar de filtro biológico propiamente dicho, pero sí de una combinación de sistemas. Se pueden distinguir tres zonas en el lecho, una superior flotando, una intermedia inundada y una inferior con agua y fangos en suspensión; por tanto el funcionamiento del lecho se hace con la combinación de tres sistemas distintos: lechos bacterianos, lechos inundados y finalmente fangos activos.
- Como consecuencia de la flotabilidad del lecho, la parte superior queda “regada” por el agua de entrada y surgen problemas típicos de los lechos bacterianos: moscas y olores.
- La distribución de aire de proceso no es uniforme, diferenciándose zonas más aireadas que otras.

2.- La superficie de las “lentejas” es demasiado lisa por lo que no ayuda a la fijación de la biopelícula. Por otro lado se observa como la aireación del lecho no es homogénea y se forman caminos preferenciales, como consecuencia de la baja densidad del material. Si incrementamos el caudal de aire, como consecuencia de esa baja densidad del relleno plástico, se produce una fuerte agitación del relleno que imposibilita, tanto por fricción entre partículas, como por la textura lisa del relleno, el crecimiento de la biopelícula.

Este apartado y el anterior indican la necesidad de mejorar el relleno, consiguiendo densidades mayores, así como más rugosidad y superficie específica; esto puede conseguirse por ejemplo con incrustaciones de arena silíceas en las “lentejas” y diversificar el tamaño de corte del fideo plástico; conversaciones con EGMASA en este sentido han dado co-

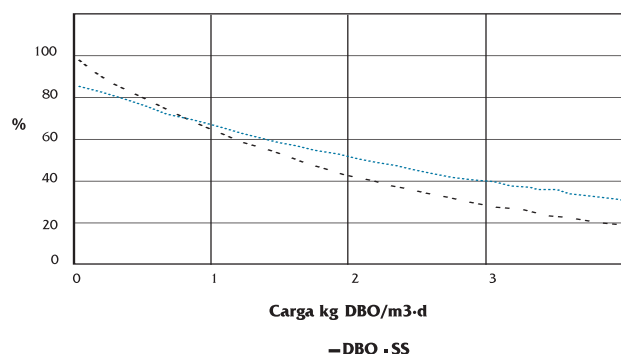


Figura 5. Curvas de rendimiento de DBO₅ y SS. Alimentación inferior. Rellenos plástico.

mo fruto el compromiso de proporcionar un nuevo material con mayor rugosidad y mayor densidad.

3.- Con el flujo descendente se necesita un decantador secundario ya que, con el agua depurada, escapa siempre un volumen de biomasa, que era más importante que cuando se producían los desprendimientos de biopelícula. Este decantador secundario de alta velocidad ascensional, podría sustituirse por un filtro de arena.

Con el flujo ascendente no hay necesidad de un decantador secundario ya que debido a la flotabilidad del lecho, el mismo actúa como filtro de una forma más activa que en la fase anterior.

4.- Puede observarse un funcionamiento secuencial del filtro con desprendimientos espontáneos de la biopelícula cada 7 a 10 días, tanto con alimentación superior como inferior de agua de proceso. Esto es indicativo de que cuando la biopelícula alcanza un cierto grosor se desprende sola, de forma análoga a lo que ocurre en los lechos bacterianos. A pesar de realizarse desprendimientos periódicos de la biopelícula, parte de la biomasa desprendida quedaba atrapada en el material, por lo que serán necesarios unos lavados periódicos, no con la frecuencia que en otros filtros inundados, pero que permitieran la “limpieza” correcta del lecho para evitar la excesiva acumulación de biomasa y sólidos en suspensión retenidos entre las partículas del relleno, que evite un funcionamiento adecuado del sistema. Estos lavados, dada la gran facilidad de agitación del lecho así como la flotabilidad, deberían ser en sentido descendente para evitar pérdidas de relleno, lo que dificulta la explotación.

5.- El lecho vuelve a alcanzar los máximos rendimientos en depuración tras el desprendimiento de biomasa en unas 48 horas, tiempo excesivo ya

que esto implicaría un funcionamiento que no alcanzaría los rendimientos necesarios durante casi dos días.

6.- Con el flujo descendente, y con una decantación secundaria los rendimientos medios en DBO₅ obtenidos son del 45%, llegándose a alcanzar máximos del 86%. En cuanto a SS los valores medios son del 53% , alcanzándose valores máximos del 94%. Se llegan a alcanzar valores de salida de 10 mg/l de DBO₅ y 3 mg/l de SS.

7.- Con el flujo ascendente, y sin necesidad de una decantación secundaria los rendimientos medios en DBO₅ obtenidos son del 47%, llegándose a alcanzar máximos del 88%. En cuanto a SS los valores medios son del 55% , alcanzándose valores máximos del 84%. Se llegan a alcanzar valores de salida de 15 mg/l de DBO₅ y 10 mg/l de SS. (Figura 5).

8.- Para el flujo descendente los valores de salida de DBO₅ en el efluente, exigidos por la Directiva Comunitaria 271/91, se alcanzan para cargas en DBO₅ menores de 0,5 kg DBO₅/m³.d. En el caso de los sólidos en suspensión se consigue cumplir las limitaciones de dicha Directiva con cargas de DBO₅ < de 1 kg DBO₅/m³.d.

9.- En el flujo ascendente estos valores se alcanzan para cargas algo mayores, 0,75 kg DBO₅/m³.d. En el caso de los sólidos en suspensión se consigue cumplir las limitaciones con cargas de DBO₅ < 1,25 kg DBO₅/m³.d (figura 6). Esta figura es una curva de aproximación que interpola los valores reales obtenidos).

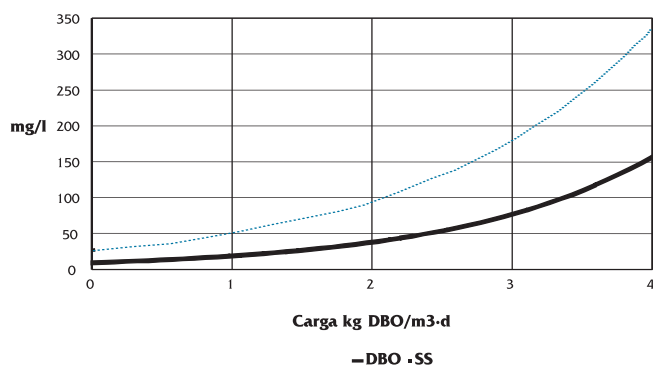


Figura 6.

Relleno cerámico

Los resultados que se exponen a continuación se refieren al flujo descendente. Con granulometría de 5 a 7 mm (Zamorano, 1996):

1.- La puesta en marcha con este relleno es corta, no llega a una semana.

2.- Es necesaria una decantación secundaria o un filtro de arena, aunque la velocidad de sedimentación de estos fangos es muy rápida, por lo que se podría reducir de forma apreciable la superficie de decantación o clarificación.



Figura 7: Espumas en planta piloto

3.- La elevada densidad del material dificulta el funcionamiento del lecho ya que para conseguir eliminar el exceso de biomasa son necesarios lavados agresivos (que necesitan elevados caudales de agua y aire) y muy frecuentes que permitan “desapelmazar” el material así como el desprendimiento de los grandes flóculos que se formaban. A pesar de ello no se consiguió la eliminación suficiente de la biomasa que permita un funcionamiento adecuado del lecho tras el lavado (no eliminar mucha para evitar tiempos de recuperación del lecho muy largos o no eliminar suficiente y se produzca una colmatación del lecho tras el lavado muy rápida), por lo que progresivamente el lecho fue colmatándose y al mes de funcionar con el se tuvo que extraer el relleno, la parte inferior del mismo, que estaba muy colmatada y de nuevo introducir otro, aunque volvió a surgir el mismo problema. Mientras trabajábamos con cargas menores de 1 kg DBO₅/m³.d, con un lavado cada 24 horas era suficiente, pero al pasar este valor debíamos incrementarlos cada 12 horas para evitar la colmatación, aunque progresivamente al aumentar la carga, los ciclos de lavado aumentan en cada uno de ellos, se llegó a la colmatación del lecho y abandono del mismo.

Al comprobar los problemas de funcionamiento que el relleno cerámico con granulometría de 5 a 7 mm presentaba se procedió a sustituirlo por el de granulometría menor, de 2 a 5 mm, que además se impermeabilizó con el material antes indicado para disminuir la densidad de trabajo y facilitar los lavados del filtro. El material utilizado como impermeabilizante se disolvió dando lugar a la formación de espumas y a un efecto semejante al bulking de los fangos activos. Además, poco a poco, el relleno iba perdiendo su capa impermeabilizante.

El intento no funcionó correctamente y llevó al abandono del material impermeabilizado (ver figura 7 donde se aprecian las espumas que salen por la parte superior de la columna).

Se optó por trabajar con un tamaño menor de relleno, 2-5 mm, aunque sin impermeabilizar y los resultados que se obtuvieron se resumen en:

1.- Los rendimientos medios alcanzados son del 47% en eliminación de DBO_5 y del 50% en SS, llegándose a alcanzar, con una decantación secundaria, unos valores de salida de hasta 16 mg/l en DBO_5 y 8 mg/l en SS (figura 8).

2.- Los valores medios exigidos por la legislación vigente para la DBO de salida se cumplen con cargas inferiores a 1'5 kg $\text{DBO}_5/\text{m}^3\cdot\text{d}$. Con los SS se cumplen las limitaciones exigidas para cargas menores de 2,25 kg $\text{DBO}/\text{m}^3\cdot\text{d}$.

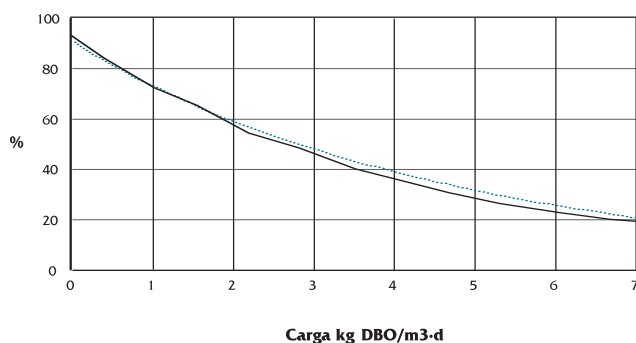


Figura 8. Curvas de rendimientos en DBO_5 y SS. Relleno cerámico. Granulometría 2 a 5 mm.

3.- De nuevo los lavados deben ser llevados a cabo con elevados consumos de aire y agua de lavado, y aún así no se conseguían buenos resultados. Se incrementan de forma apreciable las necesidades de agua y aire de lavado con un aumento de las cargas de DBO de entrada.

4.- No se ha podido eliminar la decantación secundaria, aunque se trata de fangos que sedimentan con gran rapidez, por lo que la superficie de estos decantadores puede reducirse con respecto a los convencionales. Se puede observar en la figura 9 como en una media de 3,5 minutos se consigue la sedimentación de los fangos.

5.- Rápida recuperación del lecho tras los lavados; aproximadamente a las dos horas se ha conseguido recuperar los rendimientos medios de funcionamiento del lecho (figura 10).

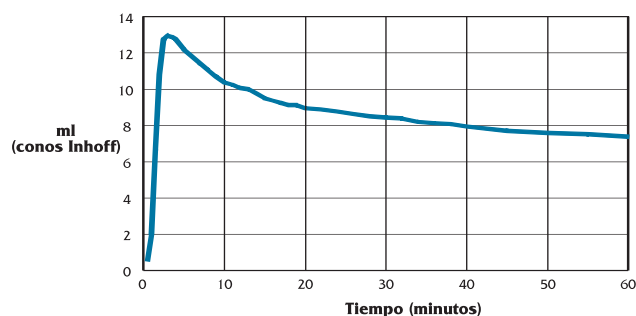


Figura 9. Sedimentabilidad del fango. Relleno cerámico

6.- Dados los problemas en los lavados se hace un estudio para la optimización de la altura de lecho que consiguiese lavados más efectivos sin reducir de forma importante los rendimientos en depuración. Con una altura de filtro entre 1 y 1'20 m. se alcanzan los mismos resultados en eliminación de DBO_5 , DQO y SS que con lechos de 1'80 m (figura 11).

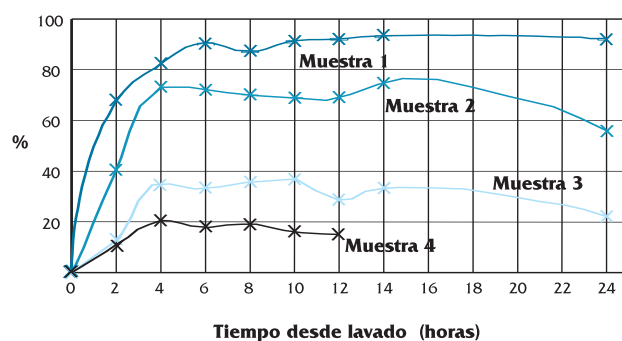


Figura 10. Recuperación del lecho tras los lavados. Relleno cerámico

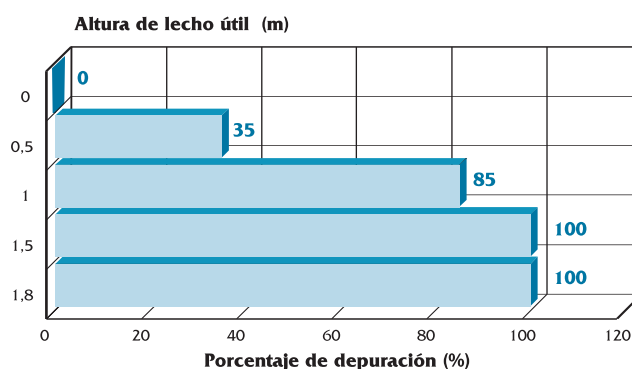


Figura 11. Porcentaje de depuración en DBO_5 . Relleno cerámico

CONCLUSIONES

A partir de los resultados expuestos las conclusiones obtenidas en este trabajo se resumen en los siguientes aspectos.

1. Tanto el material plástico como cerámico

muestran buenas aptitudes para trabajar como soportes en filtros biológicos inundados, resistiendo la agresión de las aguas residuales y permitiendo un crecimiento y colonización de microorganismos que llevarán a cabo la depuración de las aguas.

2. Es necesario sin embargo llevar a cabo unas mejoras en estos materiales para evitar algunos problemas observados en el funcionamiento.

- En el relleno plástico es necesario aumentar la densidad del material para evitar los problemas indicados de flotabilidad del relleno, arrastres o formación de caminos preferenciales. Además será necesario dar una superficie rugosa al material para conseguir que la biopelícula formada se fije adecuadamente y no se desprenda.

- En el relleno cerámico es necesario trabajar con granulometrías de 2 a 5 mm, así como reducir la altura de lecho entre 1 y 1'20 m. ya que se trata de un material con elevada densidad y por tanto se dificulta el esponjamiento y descolmatación en el proceso de lavado.

3. Con el material plástico el decantador secundario puede eliminarse sólo cuando se trabaja con flujo ascendente. Tras las mejoras del material se valorará la posible supresión del clarificador para flujo descendente.

4. Con el relleno cerámico es necesaria una decantación secundaria que puede ser sustituida por un filtro de arena. En este caso sólo se ha podido trabajar con flujo descendente ya que las características del material, como se indicó, nos impidieron hacerlo con flujo ascendente.

REFERENCIAS

- APHA (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 8th ed. American Public Health Association, Washington DC.

- Candler J.P y J.M. Perret, (1993). Biological aerated filters assessment of the process based on 12 sewage treatment plants. Second international Specialized Conference on Biofilm Reactors (París-Francia).

- Dillon G.R y V.K. Thomas (1989). A pilot scale evaluation of the "biocarbón process" for the treatment of settled sewage and for tertiary nitrification of secondary effluent. Conference Nice.

- Directiva Comunitaria 217/9, relativa al tra-

tamiento de las aguas residuales urbanas. Diario Oficial de las Comunidades Europeas 30/5/91.

- González Martínez S y J. Duque Luciano, (1992). Aerobic submerged biofilm reactors for wastewater treatment. Wat. Res. Vol. 26, nº 6, pp. 825-833.

- Hernández Lehmann, A. Manual de diseño de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales. (1997). Servicio de Publicaciones del Colegio de Ingenieros de Caminos.

- Hontoria E., M. Zamorano, M.A Gómez y J. González, (1995). Tratamiento de aguas residuales. Procesos sumergidos de biopelícula. Tecnambiente nº 47. pp. 31-33.

- PuntoMarket. Nº 4 (Mayo 1998). Reciclaje de plásticos utilizados para coberturas agrícolas.

- Rogalla F. y J. Sibony, (1992). Biocarbón aerated filters-ten years after: past, present, and plenty of potential. Wat. Res. Vol. 26, nº 9-11, pp. 2043-2048.

- Vedry B., C. Paffoni, M. Gousailles, C. Bernand, (1993). First months operation of two biofilter prototypes in the waste water plant of Acheres. Second International Specialized Conference on Biofilm Reactors (París-Francia).

- Zamorano M. (1996). Estudio comparativo de rellenos en sistemas de depuración de lechos inundados. Tesis doctoral. Granada.

- Zamorano M., A. Menéndez, B. Moreno, M.A. Gómez, E. Hontoria y J. González, (1996). Utilización de residuos industriales como soporte para la depuración biológica de aguas residuales. SIAGA'96 IV Simposio sobre el agua en Andalucía, 16-20 de Diciembre de 1996. Roquetas de Mar (Almería).

- Zamorano M., A. Menéndez, F. Osorio, J.I. Pérez, E. Hontoria y J. González, (1996). Utilización de plástico reciclado como soporte para la depuración biológica de aguas residuales. SIAGA'96 IV Simposio sobre el agua en Andalucía, 16-20 de Diciembre de 1996. Roquetas de Mar (Almería).

- Zamorano M., M.A. Gómez, E. Hontoria y J. González, (1995). Estudio de diferentes materiales como soportes de lechos biológicos inundados en depuración de aguas residuales. Congreso internacional IAWQ conference workshop biofilm structure, growth and dynamics. Need for new concepts?. 30 Agosto-1 Septiembre 1995. Noordwijkerhout. Holanda.

- Zamorano M., M.A. Gómez, J. González y E. Hontoria, (1995). Material de soporte y fuentes de carbono en procesos de lechos inundados. Tecnambiente nº 52. pp. 39-42.