

Tratamiento de vertidos de la industria agroalimentaria mediante la aplicación de la tecnología de biorreactores de membrana

Por: **Mayte Arellano Calavia**, ingeniero técnico industrial; **Felipe García Chivite**, ingeniero técnico industrial; **Enrique Jiménez Cruz**, ingeniero técnico industrial

Hidráulica Depuración y Ecología, S.L. (Hideco)

C/ Caballero de la Rosa, 1, Bajo - 26001 Logroño (La Rioja)

Tel.: 941 262 267 - Fax: 941 262 267

E-mail: hideco@hideco.es - www.hideco.es

1. Introducción

La reutilización de las aguas y el cumplimiento con los parámetros de vertido, cualesquiera que sean las condiciones iniciales del vertido, son los condicionantes que han impulsado a la empresa Hideco a desarrollar un sistema de biorreactores de membrana (MBR) eficiente para el tratamiento de los efluentes en las industrias agroalimentarias.

Partiendo del conocimiento adquirido sobre los vertidos generados y su tratamiento en este tipo de industrias, en las que Hideco trabaja desde su fundación en 1994, esta empresa ha considerado necesario desarrollar un sistema de tratamiento mediante la aplicación de tecnología de membranas que cumpliera con los siguientes objetivos: una excelente operatividad (sencillez, fiabilidad, robustez y vida útil elevada) y una mayor eficiencia energética, puesto que los sistemas existentes

presentan importantes posibilidades de mejora en estas dos direcciones.

La problemática de los vertidos se reducen a los siguientes puntos:

- Estacionalidad muy acusada en cuanto a cargas y volúmenes vertidos.
- Elevada concentración de materia orgánica.
- Variaciones constante de pH.

En la **Tabla 1** se muestra, a modo de resumen, la composición contaminante de las industrias agroalimentarias consideradas.

Otro factor fundamental a considerar son los costes del sistema de

tratamiento de aguas residuales. Mientras que el coste inicial de implantación es muy similar para todas las alternativas fiables estudiadas, resulta prioritario minimizar los costes de mantenimiento y explotación, reducir los costes energéticos y garantizar que la instalación resulte duradera, eficiente y tenga un mantenimiento sencillo, de forma que no se generen costes añadidos por averías, sustituciones o una excesiva mano de obra.

Para conseguir los objetivos planteados, hay que trabajar sobre dos aspectos fundamentales:

- Selección del tipo de membrana.
- Diseño eficiente del sistema de permeado y retrolavado, y automatización del mismo.

2. Selección de la membrana más adecuada

Durante los años 2009 y 2010, Hideco, con el apoyo de la Agencia de Desarrollo Económico de la Rioja (ADER), ha llevado a cabo el proyecto de investigación y desarrollo (I+D) 'Sistema de reutilización de agua para riego, aplicable a efluentes provenientes de industrias vitivinícolas'. Para su realización, al inicio se tuvieron que comparar las diferentes tecnologías existentes en el mercado que pudieran garantizar un agua tratada de las características deseadas. Principalmente, se analizaron las diferentes alternativas de membranas de nanofiltración existentes.

2.1. Membranas convencionales

En la actualidad, hay dos tipos de membranas que se utilizan en los MBR de plantas de tratamiento de

Tabla 1

Industria	DBO ₅	DQO	SS
Conservas	500 - 8.000	1.500 - 20.000	240 - 7.200
Azucareras	1.000 - 7.000	1.500 - 10.000	1.000 - 23.000
Bodegas	3.000 - 12.000	5.000 - 24.000	1.000 - 5.000
Cerveceras	400 - 2.200	1.000 - 1.500	100 - 750

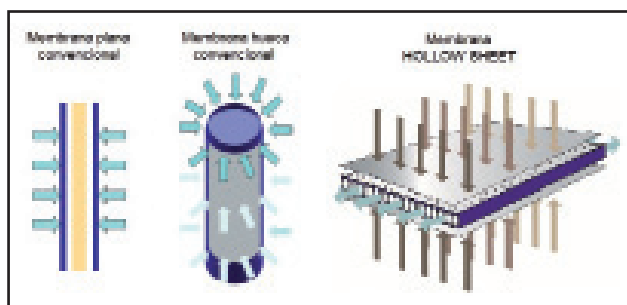


Figura 1. Diseños básicos de los tres tipos de membranas.

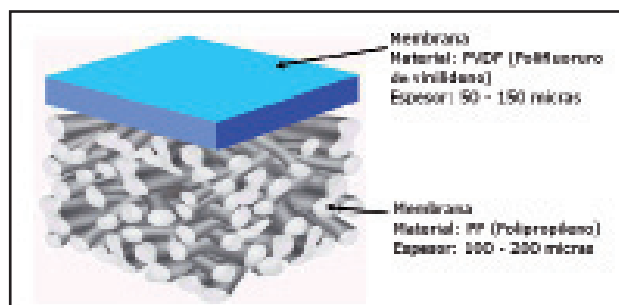


Figura 2. Detalles de la membrana y de su soporte.

aguas residuales, cada una con sus ventajas e inconvenientes: membranas de fibra hueca; y membranas de fibra plana (Figura 1). Con las primeras, se puede tener un retrolavado y una alta densidad por módulo. Las segundas aportan menor grado de ensuciamiento, un funcionamiento basado en la gravedad sin bombas ni otros equipos auxiliares y una presión transmembranal (PTM) relativamente baja.

2.2. Sistema MFM con membrana Hollow Sheet

Detenidos en este punto, la empresa Alfa Laval ofreció la posibilidad de emplear su solución de módulos de filtración mediante membrana hueca-plana (MFM), ya que reúne las ventajas de las dos tecnologías anteriores en un sistema con un diseño totalmente innovador: la membrana Hollow Sheet (Figura 1). El factor que llevó a Hideco a seleccionar esta tecnología fue la menor PTM necesaria para el filtrado en este tipo de membrana:

PTM = Variable de 70 a 500 mca

Ello se traduce en dos importantes ventajas:

- Reducción considerable del ensuciamiento de la membrana al no estar sometida a una gran depresión.
- Posibilidad de diseñar un sistema de funcionamiento basado en la gravedad, sin bombas ni otros equipos auxiliares que compliquen el funcionamiento de la instalación.

El sistema de filtración mediante membrana utilizado en los MBR es solo una parte de la instalación global. Sin embargo, es esencial para lograr unos resultados óptimos. Un suministro fiable de las membranas de alta calidad y efectividad es un elemento clave para maximizar el éxito de las soluciones MBR.

La característica exclusiva de la membrana Hollow Sheet es su funcionamiento con una PTM excepcionalmente baja en toda la superficie de la membrana. Por ello, el licor mezcla que atraviesa la membrana no se acumula en la superficie ni se adhiere a ella. De esta manera, se reduce considerablemente el ensuciamiento de la superficie de filtración, una de las mayores limitaciones para la implementación eficaz de la tecnología MBR.

La reducida PTM conlleva unas necesidades de limpieza mucho menores, lo que, a su vez, reduce los costes y el tiempo de inactividad y el deterioro de la membrana por los

constantes procesos de limpiezas químicas.

Además, la solución MFM está diseñado con materiales de alta resistencia química: polifluoruro de vinilideno (PVDF) para la membrana; PP para los espaciadores; y Aisi 316 para el módulo autoportante (Figura 2).

2.2.1. Funcionamiento del módulo MFM

El módulo de filtración mediante membrana (MFM) de Alfa Laval consta de paquetes estándar de membranas hueca-plana, situadas en el interior de un bastidor de acero inoxidable con sus correspondientes conexiones. Los elementos que componen los paquetes de membranas son más altos y anchos que cualquiera de los disponibles en el mercado.

Según su principio de funcionamiento (Figura 3), el licor mezcla fluye hacia arriba entre los elementos de la membrana, mientras el permeado atraviesa la membrana. Para

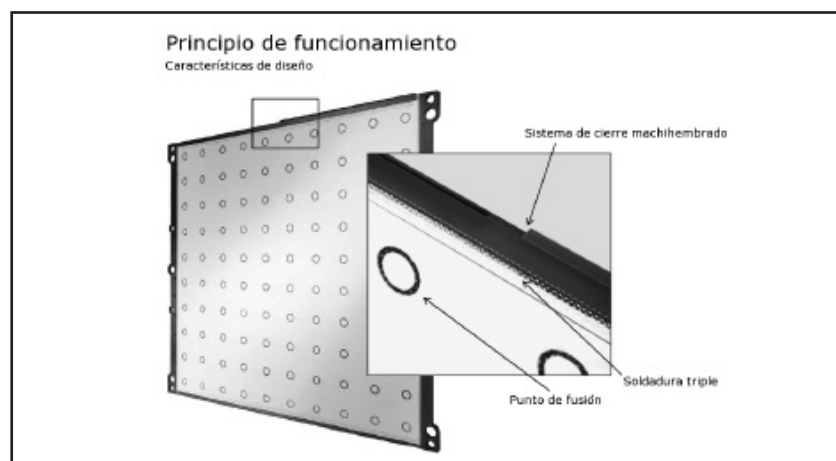


Figura 3. Funcionamiento del módulo MFM.

garantizar que este licor mezcla circule con eficacia, se utilizan burbujas de aire para crear una velocidad de flujo cruzado. Además, así se consigue un efecto de limpieza. Sea cual sea el número de módulos apilados, solo se agrega aire a través de una única parrilla de aireación en la parte inferior.

Un diseño exclusivo garantiza que el permeado (el efluente limpio) se filtre por toda la superficie de la membrana y salga en torno a los bordes, para recogerse a través de los colectores de la parte superior de la unidad. De esta forma, la caída de la presión sobre la membrana se acerca a 0 y no hay puntos muertos en la membrana. Cuando la limpieza se hace necesaria, resulta muy fácil tratar toda la superficie de la membrana. Es por ello que se emplean secuencias de limpieza que incluyen la relajación, el retrolavado y la limpieza *in situ* por circulación de fluido de limpieza.

2.2.2. Ventajas del sistema de membrana hueca-plana

Este sistema de filtración ofrece las siguientes ventajas:

- Eliminación del ensuciamiento casi por completo, minimizando las tareas de limpieza y ofreciendo, por tanto, una mayor vida útil de la membrana.
- Área de membrana excepcionalmente alta en relación con la superficie ocupada por el módulo. En consecuencia, la capacidad de filtración es mucho mayor.
- Las membranas son de un PVDF especial, muy resistente a ácidos, sustancias cáusticas y procesos de oxidación.
- Mayor vida útil, que proporciona ahorros en los costes de explotación.

3. Diseño del sistema de permeado y retrolavado y su automatización

Una vez que Hideco tuvo claro cuál era la membrana que mejor encajaba para la aplicación que se perseguía, se decidió construir un pro-

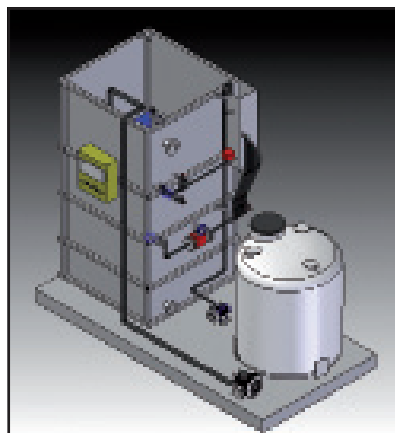


Figura 4. Diseño del sistema en 3D.

totipo que permitiese diseñar y ensayar el mejor sistema de funcionamiento para este tipo de membranas, teniendo muy en cuenta las prioridades que se marcaron al comienzo del desarrollo, que eran: excelente operatividad, mantenimiento y eficiencia energética (Figura 4).

Como ya se ha comentado, estas membranas trabajan con una presión transmembranal tan baja que la extracción del agua filtrada se puede realizar por gravedad. Para ello es necesario dotar a la instalación de un tanque de compensación de presiones (TMP), donde se conducirá el agua una vez filtrada. La diferencia de cota entra la lámina de agua en el

La solución de Hideco para las empresas vitivinícolas consta de membranas de fibra hueca-plana y un tanque de compensación de presiones

reactor y la lámina del agua en este tanque de compensación (ΔH) es el parámetro fundamental a controlar para garantizar un buen funcionamiento del sistema (Figura 5).

El control de esta variable se planteó como uno de los principales problemas del sistema, dado que era necesario controlar la diferencia de nivel (ΔH) en el proceso de filtrado, así como invertirla y controlarla ($-\Delta H$) en los procesos de retrolavado. Actualmente, en plantas de cierta entidad este problema se resuelve equipándolas con multitud de instrumentación (captadores de nivel ultrasónicos o piezoestáticos, vacuómetros, caudalímetros, variadores

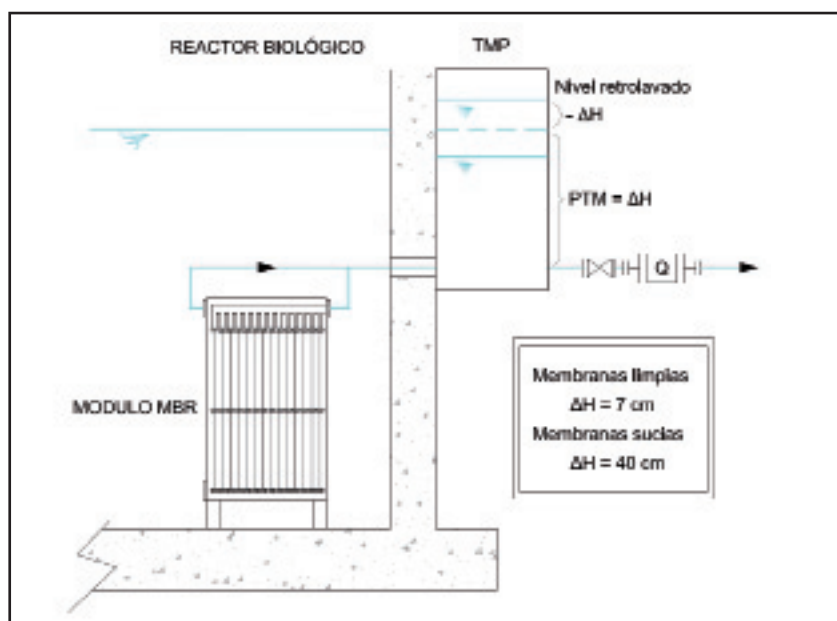


Figura 5. Diagrama de niveles.



Figura 6. Vista general de la EDAR de San Vicente de la Sonsierra.

de frecuencia, etc.). También se sabe que los sistemas de automatización excesivamente complejos, además de suponer un sobrecoste en la instalación inicial, implican una complicación a la hora de realizar el mantenimiento en instalaciones medianas-pequeñas, las cuales no disponen del personal especializado en todo momento y, por lo tanto, van a estar sin supervisión presencial externa durante varios días.

Teniendo en cuenta todo ello, se trató de reducir las variables a controlar, obteniendo un sistema robusto y sencillo de explotar. Así, después de probar diversas alternativas, se consigue controlar todo el sistema mediante el empleo de un caudalímetro electromagnético que supervisa en todo momento el caudal permeado y una válvula reguladora ‘paso a paso’ que permite ajustar en continuo el caudal permeado. Con estas dos variables controladas, solo quedaba fijar una correspondencia inequívoca entre la apertura de la válvula proporcional y el nivel real en el TMP. Para simplificar hasta este punto el sistema de control, resulta imprescindible dotar de una serie de reboses al reactor biológico y al TMP para que fijen los niveles, evitando así que las membranas se sometan a diferenciales de presión excesivos.

Mediante el desarrollo de este sistema de permeado y retrolavado para



Figura 7. Puesta en marcha de la planta piloto a escala real.

las membranas Hollow Sheet, Hideco ha conseguido gestionar todo el proceso mediante el control de una única nueva variable (% apertura válvula permeado). De esta forma, se simplifica considerablemente todo el proceso de depuración con un biorreactor de membranas y se obtiene un sistema realmente eficiente con un coste de implantación competitivo.

4. Ensayos con prototipo

Para realizar los ensayos que validasen tanto la membrana seleccionada como el sistema de operación de las mismas, se decidió hacer un prototipo en la Depuradora Mancomunada de San Vicente de la Sonsierra (La Rioja), planta de fangos activos convencionales ejecutada por Hideco en 2007 y que actualmente también explota (Figura 6). En esta EDAR se trata el agua resi-

dual procedente de 14 bodegas de elaboración de vinos de la zona llegando a tratar 200 m³/día con una DQO media en periodo de alta carga que supera los 14.000 mg/l.

Durante el periodo de vendimias de 2011 se realizó un pilotaje a escala real (40 m³/día) con el prototipo diseñado y fabricado por Hideco, de forma que se pudo comprobar su comportamiento sometándolo a las condiciones más adversas que se suelen plantear en las industrias agroalimentarias.

Como se observa en la Figura 7, se trata de un equipo modular. Esto permite emplear una solución similar en depuradoras que ya existen y que necesiten implementar un sistema MBR, lo cual no solo mejorará las características del agua tratada, sino que además posibilitará incrementar su capacidad de tratamiento,



Figura 8. Muestra de agua tratada en la línea convencional (izquierda) y con MBR (derecha).

ya que el empleo de este módulo MBR permite aumentar la concentración de fangos activos hasta valores de 14 gr/l.

Para la realización de las pruebas se empleó uno de los dos reactores de la depuradora con el prototipo, dejando el segundo reactor funcionando con su decantador convencio-

nal. De esta forma se pudo observar mejoras importantes en la calidad del agua tratada mediante el nuevo sistema de filtrado con membranas, disminuyendo considerablemente los SS, la DQO y la turbidez (Figura 8).

Los ensayos se prolongaron durante 6 meses, durante los cuales se obtuvieron los resultados esperados.

La Figura 9 muestra algunos de los valores obtenidos durante el mes de octubre, ya que se trata del periodo de mayor actividad para la industria vitivinícola en La Rioja.

La calidad del efluente alcanzó el rendimiento de un tratamiento terciario, posibilitando su empleo en sistemas de reutilización para riego. Debe añadirse también que actualmente el número de analíticas que se exigen según RD 1620/2007 para autorizar esta reutilización en instalaciones de caudales relativamente pequeños hace inviable económicamente esta opción.

5. Aplicación práctica en una depuradora vitivinícola

Tras los positivos resultados del prototipo a escala real, durante los primeros meses de 2011 Hideco ejecutó, para Bodegas Viña Ijalba, la primera instalación en el sector vitivinícola, aplicando los conocimientos adquiridos con el proyecto (Figura 10). Hasta la fecha los resultados obtenidos en esta instalación son francamente satisfactorios, destacando las siguientes ventajas:

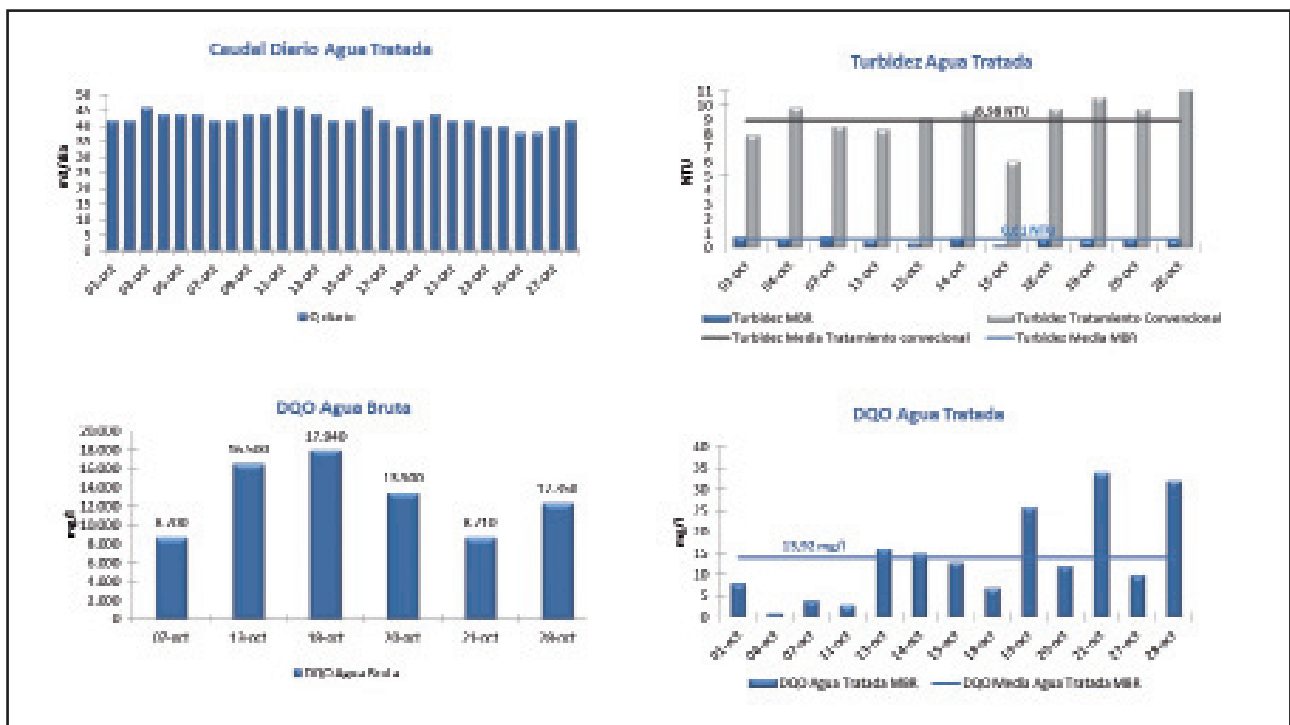


Figura 9. Gráficas de resultados obtenidos en la calidad de las aguas: caudal diario del agua tratada (superior izquierda); turbidez (superior derecha); DQO del agua bruta (inferior izquierda); y DQO del agua tratada (inferior derecha).



Figura 10. Sistema MBR en la EDAR de Bodegas Viña Ijalba.

- Instalación robusta y muy fiable.
- Escasas necesidades de personal para mantenimiento.
- Alta eficiencia energética.
- Sistema de automatización y control muy sencillo, que posibilita un fácil telecontrol vía SMS.
- Control del sistema de permeado mediante una única variable (AH en TMP).
- Mínimo ensuciamiento de las membranas (durante el primer año completo de funcionamiento solo se han realizado 5 ciclos de limpiezas de las membranas, lo cual no solo supone un importante ahorro en los trabajos de explotación, sino también alargar la vida útil de las mismas).

6. Conclusiones

- Con la realización de este proyecto, Hideco ha conseguido desarrollar un sistema de depuración mediante el empleo de la tecnología MBR realmente eficiente para el tratamiento de vertidos de la industria agroalimentaria, solventando los problemas que hasta la fecha se producían con este tipo de tecnología:
- Ensuciamiento rápido de las membranas.
 - Elevados costes de implantación y explotación.
 - Complejidad operativa.

Mediante el empleo de la novedosa membrana Hollow- Sheet de Alfa Laval y el sistema de permeado y retrolavado diseñado por Hideco, se corrigen estos problemas y se posibilita el empleo de una tecnología con absoluta garantía, obteniendo las siguientes ventajas:

- Permite trabajar con la menor TMP del mercado (entre 70 y 500 mca).
- Esta membrana es menos propensa al ensuciamiento, de forma que el número de limpiezas químicas es inferior a lo habitual, por lo que se alarga la vida de la membrana y también su coste de reposición.
- En caso de existencia de filamentos o pequeños sólidos no retirados en el tamizado, no se produce taponamiento, ya que pueden pasar por la zona hueca superior.
- Permite realizar *backflusing* y retrolavado químico (sin necesidad de sacar el módulo para sumergirlo en un depósito de reactivo). Mayor sencillez y eficiencia en la limpieza.
- El consumo de aire también es inferior al habitual (del orden de 20-40% inferior dependiendo del tamaño de módulo utilizado), por lo que en conjunto permite un ahorro energético muy importan-

te y un ahorro en los costes de explotación.

- La sencillez de operación del sistema permite el funcionamiento en automático sin la presencia constante de operadores especializados.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen a Raquel Moreno Cuesta su inestimable participación en este proyecto; a la Agencia de desarrollo de la Rioja por el apoyo prestado; a Carlos Garcia, Jessica Bengtsson y Nicolas Heinen, de Alfa Laval, por compartir su conocimiento sobre la tecnología MBR; a la Depuradora Mancomunada Bodegas San Vicente de la Sonsierra y a todos sus socios por permitir realizar los ensayos pilotos en sus instalaciones; y a Bodegas Viña Ijalba por confiar en Hideco para la ejecución de su depuradora.

8. Bibliografía

- [1] RD 1620/2007 (2007). ‘Régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas’. BOE, 8 de diciembre, Ministerio de la Presidencia, Gobierno de España.
- [2] AEAS (2005). ‘Estudio sobre la eficiencia y eficacia de las tecnologías utilizadas en los tratamientos de regeneración de las aguas residuales depuradas’.
- [3] Fernández Martínez, P. (2007). ‘Recuperación de agua y de agentes de limpieza industrial: diseño de un sistema integrado con membranas para la recuperación de detergentes de fase única’. Tesis doctoral, Universidad de Oviedo.
- [4] García Expósito, I. (2003). Actualidad Tecnológica, núm. 469.
- [5] Ministerio de Medio Ambiente (2005). ‘Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España Sector Lácteo’.
- [6] Seoáñez Calvo, M. (2003). ‘Manual de tratamiento, reciclado, aprovechamiento y gestión de las aguas residuales en las industrias agroalimentarias’. MundiPrensa.