

CONSTRUCCIÓN DE REACTOR BIOPELÍCULA CON SOPORTES MÓVILES Y MEMBRANAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Mirian Álvarez¹, Dimas Mavares²

Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”. Vicerrectorado Barquisimeto.

¹Departamento de Ingeniería Química. ²Departamento de Ingeniería Electrónica.

miricristal@gmail.com, dmavares@unexpo.edu.ve

RESUMEN: En este artículo se describe un proyecto recientemente seleccionado en la convocatoria de proyectos estratégicos 2011 y a financiarse con recursos LOCTI, consistente en la construcción una planta piloto de tratamiento de aguas residuales, en donde se implementará la tecnología biopelícula con membranas de filtración y soportes móviles. Dentro de las contribuciones del proyecto se destaca la generación de conocimientos acerca de reactores biopelícula, especialmente concebidos y diseñados para lograr un tratamiento de aguas residuales en instalaciones compactas y eficientes. Se plantea también el diseño y la construcción de un reactor a escala de laboratorio. Dentro de las actividades programadas en el proyecto está el diseño del reactor biológico, desde su estructura externa, pasando por el sistema de aireación y alimentación, hasta las pruebas operativas para comprobar su funcionalidad. Se plantea también la construcción del reactor, la instalación e integración de los diferentes subsistemas y la realización de pruebas de puesta a punto y de verificación de funcionamiento. Al finalizar la investigación, se habrán obtenidos conocimientos relativos a la fabricación de reactores biológicos utilizando la novedosa técnica híbrida de membranas con lecho móvil, conocimientos los cuales pueden representar un adelanto significativo hacia el diseño y construcción de reactores a escala real.

Palabras claves: Tratamiento de aguas residuales, reactor biológico, membranas de filtración, soportes móviles.

BUILDING OF A MOVING BED BIOFILM MEMBRANE REACTOR FOR MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT

ABSTRACT: A research project is described, which has been recently selected in the 2011 strategic project call. This project, to be supported with LOCTI resources, consists in the building of a biofilm pilot plan for wastewater treatment, using microfiltration or ultrafiltration membranes in combination with moving bed technology. Within the contributions of the project, the increase of knowledge about biofilm reactors, specially created and designed to treat wastewater into compact and efficient installations, can be highlighted. As part of the activities considered in the project, the biofilm reactor will be designed, including its external structure, the aerations and the feeding system, and the operative tests to measure its performance. The pilot scale reactor will be constructed, installing and integrating the different subsystems. It is expected that, when completing the project, relevant knowledge about the design and building of biofilm reactors using a hybrid technology that combines membranes and moving bed. This knowledge could contribute to the design and building of real scale reactor in our country.

Keywords: Wastewater treatment, biofilm reactor, filtration membranes, moving bed.

1. INTRODUCCIÓN

Típicamente, el tratamiento de aguas residuales es alcanzado por la separación física inicial de sólidos de la corriente de aguas domésticas o industriales, seguido por la conversión progresiva de materia biológica disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias adecuadas, generalmente presentes en estas aguas. Una vez que la masa biológica es separada o removida, el agua tratada puede experimentar una desinfección adicional mediante procesos físicos o químicos. Este efluente final puede ser descargado o reintroducidos a un cuerpo de agua natural (corriente, río o bahía) o a un terreno superficial o subsuelo. Los sólidos biológicos segregados experimentan un tratamiento y neutralización adicional antes de la descarga o reutilización apropiada.

Hoy en día se dispone de tecnologías de depuración de agua residual capaces de reducir la contaminación de los efluentes a cantidades admisibles por el medio receptor e incluso de regenerarlos. Ello ha permitido que los objetivos en materia de depuración de aguas vayan más allá de la protección del medio receptor y potencien el ahorro y mejor aprovechamiento del recurso mediante su reutilización. El agua residual es sometida a procesos químicos, físicos, biológicos o combinaciones de los mismos hasta alcanzar la calidad requerida. Los tratamientos son más complejos y costosos cuanto mayor sean los requerimientos de calidad.

La búsqueda de tecnologías de depuración y regeneración de agua residual más sencillas y económicas obliga a investigar nuevas alternativas de tratamiento, que sean cada vez más compactas, modulares, de bajo consumo energético y poco mantenimiento. Con este objetivo se desarrollan entre otros sistemas compactos de depuración biológica de cultivo fijo (biopelícula) [1] y los reactores biológicos de membrana (RBM) [2].

Los reactores biológicos de membrana se encuentran entre las tecnologías que permiten la regeneración del agua residual. Surgen de la combinación de dos procesos básicos, la degradación biológica y la separación por membranas, en un proceso en el que los sólidos en suspensión y los microorganismos responsables de la biodegradación son separados del agua residual tratada mediante una unidad de filtración por membranas [3]. El módulo de membranas puede quedar externo al reactor biológico, en cuyo caso es necesaria una recirculación de la biomasa retenida hacia el mismo, o sumergido en la misma unidad, agrupando en ella los tratamientos de eliminación de sólidos, de materia orgánica, de nutrientes y de desinfección del vertido.

Un Reactor Biopelícula con Membranas (RBpM) consiste en un reactor biopelícula que utiliza membranas hidrófilas de micro o ultrafiltración de separación sólido – líquido para retención del exceso de biomasa. El RBpM se basa en una tecnología innovadora y avanzada de depuración de aguas residuales industriales o urbanas. Al igual que un RBM, el RBpM es capaz de obtener un efluente que cumple las exigencias de calidad para prácticamente todas las aplicaciones de reutilización de aguas. Sin embargo, la combinación del proceso de membranas con el proceso biopelícula permite al RBpM obtener una menor concentración de sólidos en la zona de membranas y mejorar la captación de oxígeno gracias a la transferencia biológica del mismo [4,-7].

Los reactores biopelícula con membranas y lecho móvil (RBpMM) constituyen pequeñas plantas de tratamiento, las cuales, con un diseño adecuado, pueden alcanzar altos niveles de eficiencia. Estas características los hacen ideales para el tratamiento de aguas en zonas apartadas, comunidades remotas o conjuntos residenciales. Estos sistemas, utilizan soportes de plásticos suspendidos en continuo movimiento en el reactor [8,9], en cuya superficie crecen los microorganismos activos. La suspensión y distribución de los soportes crean una amplia área superficial y el movimiento evita el atascamiento, además de un sistema de membranas de filtración. Inclusive, su estructura es atractiva para el tratamiento distribuido de aguas residuales, ya sea con una estructura de tratamiento autónoma o como apoyo y descarga de grandes Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDARs) [5,7,8,10-14].

En este artículo se describe el proyecto de investigación “Reactor biopelícula con membranas y soportes móviles para el tratamiento de aguas residuales”, el cual ha sido seleccionado por el FONACIT en la convocatoria de proyectos estratégicos 2011 para su financiamiento, bajo el número 2011000408. En el citado proyecto se propone el diseño y la construcción de un RBpMM, el establecimiento de sus condiciones operativas y la validación de su funcionamiento a través de la caracterización del afluente y del efluente. El artículo se organiza de la siguiente manera. En primer lugar se describe la estructura del reactor biopelícula de membranas y lecho móvil. En la siguiente sección se describe el diseño y adquisición de materiales y equipos, construcción del reactor, construcción del módulo de membranas y su posterior puesta en marcha. Posteriormente se especifica cuáles son los productos a generarse en el proyecto. Finalmente, se establecen conclusiones del artículo.

2. MODELO DEL SISTEMA

El reactor biológico consta de los siguientes componentes:

- Una estructura externa (cuerpo) del reactor RBpMM (Figura 1), formado por cuatro módulos rectangulares de material acrílico de 10 mm de espesor. Cada módulo irá unido al otro mediante tornillos de acero inoxidable y juntas de gomas para evitar fugas. El volumen neto del reactor será de 70 L.

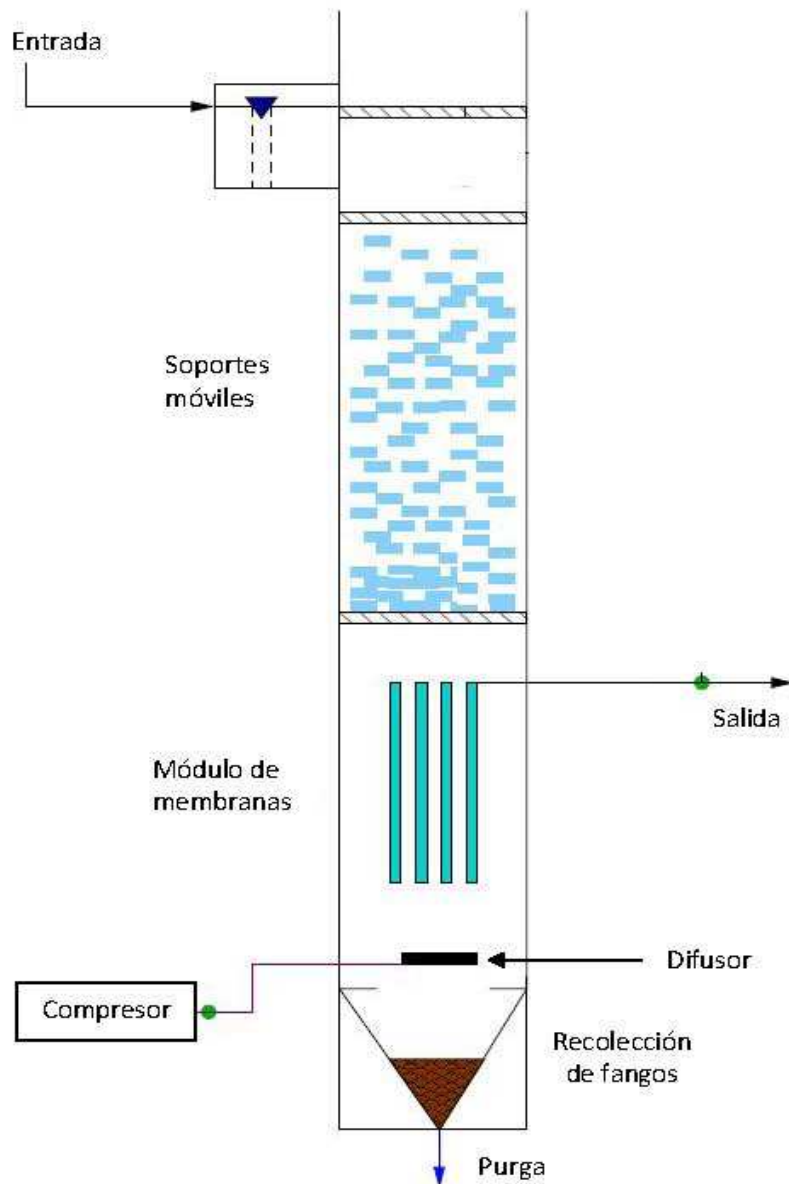


FIGURA 1. Estructura del reactor

- Un medio soporte (Figura 2).



FIGURA 2. Medios soportes tipo Kaldnes®

- Un módulo de membranas, formado por tres partes: las membranas (membranas hidrofílicas de microfiltración o ultrafiltración de fibra hueca), el soporte donde están fijadas las membranas y la salida del permeado.
- Un sistema de aireación (Figura 3), formado por un difusor de burbuja fina, situado en el fondo del reactor, es decir, en el cuarto módulo o base. El sistema de aireación va conectado a un compresor de aire, de tal forma que aporte el oxígeno necesario para los microorganismos y genere un sistema mezcla completa que ayuda a disminuir la acumulación de sólido en la membrana.

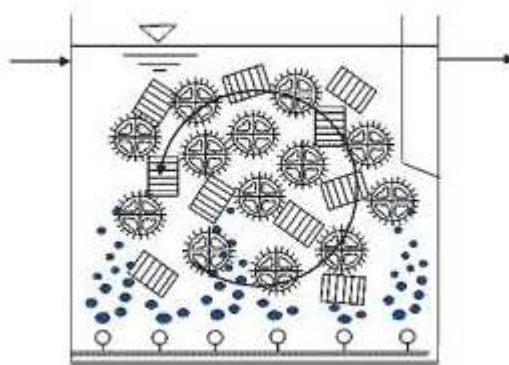


FIGURA 3. Reactor aerobio

- Tuberías, válvulas y conexiones tanto para agua como para el aire, y un sistema semiautomático con electronivel y electroválvula.

El reactor se pone en marcha alimentado con el agua problema, la cual entra por la parte superior del reactor por medio de una bomba. El caudal fijado para la alimentación será de 7L/h. El agua residual entra en contacto inicialmente con el proceso biológico (soportes móviles) antes de ser filtrada a través de las membranas de microfiltración o ultrafiltración. La altura de la columna de agua se mantendrá constante gracias a la instalación de un sistema semiautomático integrado por un electronivel conectado a una electroválvula situada en la salida del permeado, de manera que se cierra la válvula de la salida si el nivel tiende a bajar demasiado. Por lo tanto, si falla la bomba de alimentación, el reactor nunca quedará vacío.

La construcción del módulo de filtración dependerá de la disponibilidad de las membranas. En primera instancia, se pretende basar el módulo en el diseño propuesto en [3], el cual está formando por placas rectangulares de alrededor de 25 cm de longitud. Las membranas están suficientemente separadas como para permitir la circulación de sólidos y de aire. Sin embargo, será posible utilizar este diseño sólo si se pueden adquirir las membranas por sí solas.

El diámetro de las membranas a utilizarse está directamente relacionado con las características del afluente. Se utilizarán membranas hidrófilas de microfiltración o de ultrafiltración. La superficie de filtrado del módulo debe ser mayor o igual a 0.7 m^2

3. GESTIÓN DEL PROYECTO

Con respecto a los integrantes del grupo ejecutor del proyecto, sus distintos integrantes cuentan con importantes capacidades y destrezas adquiridas en diferentes campos de ingeniería, mediante la participación en diversos proyectos de investigación. Ha sido posible involucrar personal con distintas habilidades y niveles de formación; El Dr. Mavares ha participado en numerosos proyectos en el área de las telecomunicaciones tanto a nivel nacional como a nivel internacional y ha sido responsable de algunos de esos proyectos. Dicha experiencia le ha proporcionado una alta calificación como asesor en gestión y coordinación. Por esa razón ha sido designado como responsable del proyecto. La Ing. Mirian Álvarez Sánchez ha cursado estudios de postgrado en la Universidad de Cantabria, España, en el área de ingeniería medio ambiental. Su área de actuación es la de reactores biológicos. La TSU Thania Rivero es una profesional con una muy amplia experiencia en análisis de muestras y en trabajo de laboratorio. Ha cursado estudios de postgrado, donde ha elegido como campo de trabajo el tratamiento de aguas para consumo humano. La Ing. Zulima Rivero es una profesora con una larga trayectoria docente y estudios de tercer nivel en el

área. Su experiencia en gestión y conducción de proyectos constituye un valioso aporte al logro de los objetivos.

Para su gestión, el proyecto se ha dividido en función de las siguientes etapas: diseño y adquisición de materiales y equipos, construcción y operación del reactor, y finalmente, coordinación y difusión.

En la primera etapa, es decir, en el diseño y adquisición de materiales y equipos, se diseñará:

- La estructura externa del reactor: se seleccionará el material para la estructura externa, se calcularán las dimensiones de cada módulo y la ubicación de los puntos de salida, entrada y de toma de muestras.
- El sistema de aireación y de alimentación: se diseñará un sistema de aireación usando un difusor ubicado en la parte inferior del reactor y un compresor. El diseño debe tomar en cuenta que el sistema de aireación se utiliza para limpieza del módulo de membranas. El diseño del sistema de alimentación incluye el sistema de bombeo, la red de tuberías y el sistema de almacenamiento de entrada y de salida.
- El módulo de membranas: se seleccionará el tipo de membranas (de acuerdo a la disponibilidad de suministros) y se calcularán las dimensiones de la estructura del módulo.
- El sistema de lecho móvil: se seleccionará el tipo de material utilizado como soporte móvil para la biopelícula (de acuerdo a la disponibilidad de suministros) y se calcularán las dimensiones de los soportes. Para la selección del lecho móvil se debe realizar un estudio de los diferentes materiales que podrían ser usados para la formación de biopelícula.

En la segunda etapa se construirán y ensamblarán los elementos diseñados. Las tareas contempladas en esta etapa son:

- Ensamblaje de la estructura del reactor: se acondicionará el lugar donde estará ubicado el reactor. Se ensamblará la estructura externa del reactor en el lugar acondicionado adecuadamente siguiendo las especificaciones del diseño.
- Instalación de sistema de aireación y de sistema de alimentación: se colocará en la parte inferior del reactor un difusor de aire, tanto para suministrar el oxígeno necesario a los microorganismos como para la limpieza del módulo de membranas. Se instalarán las tuberías

y conexiones para alimentación del aire proveniente del compresor al reactor. El reactor será alimentado utilizando una bomba, la cual succiona el agua del tanque de alimentación.

- Instalación del módulo de membranas.
- Puesta en funcionamiento del reactor: Para verificar el correcto funcionamiento del reactor, se procederá al suministro de agua residual sintética al reactor y se establecerán los parámetros de operación, se llevará un control de la calidad de efluente obtenido, y el funcionamiento de operación de las membranas antes de llegar al ensuciamiento.

Finalmente, la etapa coordinación y difusión abarca, como es habitual en proyectos de investigación, los dos años de duración del proyecto.

4. PRODUCTOS A GENERARSE

A través de la ejecución del proyecto descrito, será posible generar los siguientes productos:

- Diseño de un RBpMM a escala de laboratorio.
- Construcción de un RBpMM a escala de laboratorio.
- Puesta a punto y verificación del funcionamiento del reactor.
- Conocimiento acerca del estado del arte de reactores biológicos para el tratamiento de aguas residuales urbanas.
- Publicación de resultados en revistas nacionales y/o internacionales.
- Asistencia a congresos y eventos científico-técnicos.
- Fortalecimiento de proyectos y líneas de investigación y desarrollo en tratamiento de aguas residuales.
- Alianzas y grupos de colaboración con Universidades a nivel nacional e internacional.
- Capacitación de estudiantes y profesores a través de trabajos de grado de ingeniería y maestría.

5. CONCLUSIONES

Se describe el proyecto de investigación titulado “Reactor biopelícula con membranas y soportes móviles para el tratamiento de aguas residuales”, recientemente seleccionado bajo el número 2011000408 en la convocatoria de proyectos estratégicos 2011 del Ministerio del Poder Popular para la Ciencia, Tecnología e Industrias Intermedias. El proyecto en cuestión consiste en la construcción de un reactor biológico a escala de laboratorio para el tratamiento de aguas residuales, utilizando membranas de filtración y soportes de lecho móvil. Se hizo una breve introducción a la tecnología de reactores biológicos para el tratamiento de aguas y se describe la estructura del reactor a ser construido, detallando cada uno de sus módulos o subsistemas. Finalmente, se puntualizaron los productos a generarse y se especifica la forma como se organiza el proyecto de acuerdo a las actividades a ejecutar.

6. REFERENCIAS

- [1] H. Ødegaard, B. Rusten and T. Westrum. “A new moving bed biofilm reactor-applications and results”. *Water Sci. Technol.*, Vol. 29, No. 10–11, pp. 157-165, 1994.
- [2] G. Pearce, “Introduction to membranes: An introduction to membrane bioreactors”. *Filtration & Separation*, vol. 45, issue 1, Jan-Feb 2008. 32-35.
- [3] American Water Works Association Research Foundation. Lyonnaise des Eaux. Water Research Commission of South Africa. *Tratamiento del agua por procesos de membrana*. Mc Graw Hill. Madrid. 1998.
- [4] X. Sánchez A., G. Cuevas R., J. Tejero M. and J. Amieva del Val, “Reactores biológicos con membrana: una tecnología viable para la depuración y reutilización de aguas residuales,” Master’s thesis, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Santander, Feb. 2003.
- [5] G. Cuevas R. and J. Tejero M., “Prefermentación y depuración de aguas residuales domésticas en reactores mixtos con biopelícula y membranas de separación,” Ph.D. dissertation, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, 2003.

- [6] B. Rusten, O. Kolkinn, and H. Ødegaard, "Moving bed biofilm reactors and chemical precipitation for high efficiency treatment of wastewater from small communities," *Water Science and Technology*, vol. 35, no. 6, pp. 71–80, 1997.
- [7] B. Jun, K. Miyanaga, Y. Tanji, and H. Unno, "Removal of nitrogenous and carbonaceous substances by a porous carrier- membrane hybrid process for wastewater treatment," *Biochemical Engineering Journal*, vol. 14, pp. 37–44, 2003.
- [8] H. Ødegaard, B. Rusten, and T. Westrum, "A new moving bed biofilm reactor applications and results," *Water Science and Technology*, vol. 29, no. 10-11, pp. 157–165, 1994.
- [9] B. Rusten, B. Eikebrokk, Y. Ulgenes, and E. Lygren, "Design and operations of the kaldnes moving bed biofilm reactors," *AQENG*, 2005, accepted for publication.
- [10] H. Ødegaard, "Advanced compact wastewater treatment based on coagulation and moving bed biofilm processes," *Water Science and Technology*, vol. 42, no. 12, pp. 33–48, 2003.
- [11] G. Andreottola, P. Folafori, M. Ragazzi, and F. Tatano, "Experimental comparison between MBBR and activated sludge system for the treatment of municipal wastewater," *Water Science and Technology*, vol. 49, no. 11-12, pp. 53–60, 2000.
- [12] G. Pastorelli, G. Andreottola, R. Canziani, C. Darriulat, E. Van Der Fraja Frangipanee, and A. Rozzi, "Organic carbon and nitrogen removal in moving-bed biofilm reactors," *Water Science and Technology*, vol. 35, no. 6, pp. 91–100, 1997.
- [13] H. Ødegaard, B. Gisvold, and J. Strickland, "The influence of carrier size and shape in the moving bed biofilm process," in *Proc. IAWQ Conference on Biofilm Systems*, New York, USA, Oct. 1999.
- [14] L. Hem, B. Rusten, and H. Ødegaard, "Nitrification in a moving bed biofilm reactor," *Water Research*, vol. 28, pp. 1425–1433, 1994.