

SISTEMAS HÍBRIDOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

E. Vicuña G.¹, Silvia L. Ara Rojas², J. Loayza³

RESUMEN

El tratamiento de las aguas residuales se enfrentan, en el contexto actual, a un mayor número de desafíos y exigencias como: normas medioambientales más estrictas, el de tratar sustancias más complejas y volúmenes cada vez mayores de ellas, la necesidad de reusar y reciclar, poco espacio disponible para instalar o reconfigurar plantas de tratamiento. Ante este panorama, es que aparecen los sistemas de tratamiento llamados híbridos; estos combinan de manera sinérgica las acciones de procesos individuales, reforzando los aspectos benéficos e inhibiendo o eliminando los factores negativos existentes en estos procesos. Los sistemas de tratamiento de efluentes híbridos son muy eficientes, compactos y económicos; por lo que pueden tratar cualquier tipo de contaminante y en volúmenes mayores que los convencionales. Es de interés de este proyecto el tratar las aguas residuales provenientes de la industria textil y los cuerpos de agua afectados por derrames de hidrocarburos; se establece que los tratamientos híbridos desarrollados que tienen procesos biológicos como componentes, son los que se presentan como la mejor alternativa por a) su versatilidad, pues tratan diversos tipos de sustancias contaminantes; b) su facilidad de manejo, permiten ser reconfigurados y no son complejos en su funcionamiento; c) eficientes, tienen capacidad de tratar casi al 100% los compuestos orgánicos y muchos otros; y d) económicos, pues no requieren de partes mecánicas ni mucha mano de obra que exige un gasto en operación y en energía.

Palabras clave: Aguas, tratamientos residuales, sistemas, híbridos.

HYBRID SYSTEMS FOR WASTEWATER TREATMENT

ABSTRACT

The treatment of wastewater is facing, in the current context, a greater number of challenges and demands such as: higher environmental standards, treatment of more complex substances and in high amounts, reuse and recycling demand, little space available to install or retrofit treatment plants. Within this context, treatment systems called hybrids appear; which combine, in a synergetic way, the work of individual processes, enhancing positive aspects and inhibiting or eliminating adverse ones. The hybrid treatment systems are very efficient, compact, and cost-effective, due that they can treat any kind of pollutant and higher volumes than conventional ones. It is of interest, in this project, to treat wastewater from textile industry and water bodies affected by oil spills, consequently hybrid treatments which contain biological components are the best alternative in treat these wastewaters, due to: a) high versatility in treat different pollutant types; b) easy management, capacity to be retrofitted, and low complexity in operating them; c) are efficient, capable to eliminate almost 100% of organic compounds and may others; d) cost-effective process as they do not require mechanical parts neither high labor, which could increase expenditure in operation and energy used.

Keywords: Water, treatment, waste, systems, hybrid.

INTRODUCCIÓN

Los procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, incluyen los denominados primarios,

secundarios, terciarios y hasta cuaternarios. El uso de esta secuencia sistemática de procesos depende de diversos factores, tales como naturaleza del contaminante, volu-

1 eder_vicuña@yahoo.com, Departamento de Procesos, FQIQ-UNMSM.

2 liliana_ara@yahoo.es, Departamento de Biología y Microbiología, Univ. Nac. Jorge Basadre Grohmann.

3 jeloayzap@yahoo.es, Departamento de Procesos, FQIQ-UNMSM.

men del agua residual a tratar, exigencias de la normatividad ambiental, disponibilidad de recursos económicos, disponibilidad de espacio para implementar el proceso, entre otros. Con respecto a la naturaleza del contaminante, es necesario tener en cuenta que la industria, a medida que desarrolla nuevos productos, también genera otros tipos de residuos, los cuales pueden ser más peligrosos para la salud, que aquellos usualmente conocidos, ya que algunos tienen comprobada actividad cancerígena. Además, la intensificación de las operaciones industriales hace que aumente la cantidad de aguas residuales contaminadas a tratar. Es importante considerar que cada año las normas ambientales se hacen más estrictas y/o se ponen en aplicación para poder compensar o recuperar el débil equilibrio ecológico en el mundo actual. La tecnología necesaria para tratar aguas residuales existe pero su implementación en países como el Perú está supeditada a la disponibilidad de los recursos económicos. Aun si existiese el presupuesto y tecnología para tratar aguas residuales de cualquier naturaleza, la existencia de terrenos disponibles se convierte en un factor crítico, especialmente en las zonas urbanas densamente pobladas. También hay que considerar que el reuso del agua residual tratada se ha constituido en una fuente alternativa de agua debido a su limitada disponibilidad.

Para superar estas nuevas exigencias, los procesos actuales de tratamiento de efluentes, principalmente aguas residuales, están siendo reevaluados, readecuados e integrados a fin de mejorar su eficiencia, capacidad de tratamiento y hacerlos más económicos. El orden secuencial de las etapas del proceso tal como primarios, seguidos por secundarios y así sucesivamente ha sido reevaluado de manera que este orden ya no se mantiene de manera rígida, sino que más bien se está buscando la integración de estas etapas en cualquier orden y/o arreglo. Más aún, este proceso de integración se ha desarrollado hasta llegar a los tratamientos denominados híbridos que

combinan de manera sinérgica dos o más tipos de tratamiento.

Exigencias y necesidades de los actuales tratamientos de efluentes contaminados

Son muchas las razones por las cuales se han incrementado las exigencias y necesidades en el tratamiento de efluentes, sean estos industriales o domésticos. A continuación se indican las razones que existen detrás de estas consideraciones:

- Creciente interés y deseo público de tener un efluente más limpio.
- Aumento del número de regulaciones ambientales y del cumplimiento de niveles de contaminación cada vez más estrictos (límites máximos permisibles). Por ejemplo, aquellas normas que exigen la remoción de nutrientes (tales como, nitrógeno y fósforo) y compuestos orgánicos sintéticos por sus reconocidos impactos sobre la salud pública y el ambiente.
- Uso racional, sostenido y eficiente de los recursos hídricos. Esto se expresa en la necesidad de reciclar aguas residuales tratadas, por parte de la industria.
- Necesidad de reusar el agua; algo vital para poblaciones asentadas en zonas áridas.
- Necesidad de que las plantas de tratamiento sean más compactas, debido a la limitada disponibilidad de espacio, alto costo de las tierras y dificultad de expansión en zonas urbanas muy densamente pobladas.
- Exigencia de alta eficiencia en los procesos de tratamiento actuales, debido a la necesidad de tratar compuestos altamente tóxicos y por el aumento de la cantidad de aguas residuales a tratar.
- También es necesario que las plantas de tratamiento reduzcan sus operaciones, en aras de simplicidad y menor mantenimiento.

- Estas nuevas alternativas de tratamiento deben ser económicas; aun enfrentando el desafío de tratar adecuadamente efluentes complicados y en grandes volúmenes.
- Reducción en la generación de residuos sólidos resultantes del tratamiento.

La experiencia actual indica que ningún método de tratamiento de aguas residuales, usado individualmente, es capaz de alcanzar alta eficiencia de remoción de contaminantes, uso eficiente de la energía y que a la vez sea económico. Ante este panorama, los sistemas de tratamiento híbridos ofrecen una buena respuesta a las exigencias y necesidades planteadas.

Sistemas híbridos de tratamiento

Estos sistemas comprenden usualmente dos procesos diferentes que al integrarse en uno solo permiten mejorar significativamente la eficiencia y operatividad del tratamiento de aguas residuales. Esta conjunción es del tipo sinérgico, que significa que uno refuerza el proceso del otro y viceversa. Por ejemplo, la eficiencia de la oxidación fotocatalítica es afectada grandemente por limitaciones de transferencia de masa y ensuciamiento del catalizador sólido; pero cuando esta técnica es usada en combinación con la irradiación de ultrasonido, no solo se incrementa la velocidad de producción de los radicales libres (responsables de la oxidación), sino que también se reducen las limitaciones a la transferencia de masa debido a la turbulencia y corrientes acústicas generada por el ultrasonido.

Sobre la base del análisis de diferentes sistemas híbridos aplicados para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil, Hai *et al.* 2007^[9], concluyen que las tecnologías híbridas que tienen procesos biológicos son las más promisorias en su potencial de ser más eficientes y económicas. Específicamente el sistema híbrido denominado Reactor Biológico de Membrana es el más indicado, considerando también

el uso eficiente de la energía y reuso del agua. Más aún, este sistema puede ser re-acondicionado para aumentar su eficiencia con la adición de adsorbentes y dispositivos de oxidación avanzados. Reafirmando esto, Mohammadi y Esmaelifar, 2005^[16] señalan que este proceso ofrece un número de ventajas sobre procesos convencionales que incluyen: (i) alta calidad del efluente para un amplio rango de diferentes tipos de aguas residuales. (ii) no requieren adición de sustancias químicas, excepto cuando se requiere remoción de materia orgánica, (iii) disposición final de solo una cantidad pequeña de sólidos, (iv) instalaciones compactas, (v) automatización y control más simple, y (vi) requerimientos de reducida operación y mantenimiento.

En la Tabla 1 se presentan diferentes tratamientos híbridos, con sus características particulares de acuerdo a la combinación de diferentes procesos individuales, de su aplicación para procesar diferentes efluentes contaminados, de sus efectos sinérgicos y finalmente las ventajas en el tratamiento.

Análisis de los sistemas híbridos de tratamiento

Estudiando en detalle lo presentado en la Tabla 1, se pueden extraer los siguientes aspectos relevantes:

- a) Los sistemas híbridos de tratamiento se aplican a diversos tipos de efluentes industriales o domésticos.
- b) Estos sistemas híbridos comprenden combinaciones de procesos químicos, físicos y biológicos, algunos de ellos constituyen tecnologías nuevas y de punta.
- c) El esquema tradicional de la secuencia de tratamientos primarios, secundarios, y así sucesivamente, es modificado por estos nuevos sistemas de tratamiento, los que indistintamente pueden estar como tratamientos previos (pretratamiento) y tratamientos posteriores (postratamiento).

Tabla 1. Diferentes Sistemas Híbridos de Tratamientos y sus características.

Sistema híbrido de tratamiento	Tipo de agua residual	Factor de mejoramiento	Efecto	Referencia
Lodos activos – ósmosis inversa	Agua residual de la industria cárnica	<ul style="list-style-type: none"> Se mejora la agitación en proceso de lodos activos. Ósmosis inversa actúa como post-tratamiento. 	El agua residual tratada se ajusta a las regulaciones medioambientales.	Bohdziewicz y Sroka, 2005
Lodos activos y ultrafiltración	Agua residual de la industria cárnica	<ul style="list-style-type: none"> El módulo de filtración incrementa la concentración de los lodos activos en el tanque de aireación. Se extiende el tiempo de contacto del lodo activo. 	<ul style="list-style-type: none"> El bioreactor de membrana sirve como un segundo tanque de sedimentación como que también renueva contaminantes macromoleculares. Es posible usar altas concentraciones de suspensiones en el tanque de lodos activos (30 kg/m³, comparados a los 1.5-3.0 kg/m³ en plantas de tratamiento convencionales). Se alcanza remoción del DBO₅ y DCO del 98% y una completa remoción de las suspensiones. 	Bohdziewicz y Sroka, 2006
Sonicación en membrana, seguida por Oxidación húmeda	Colorante reactivo de agua residual doméstica	La membrana retiene los residuos, los que serán tratados por sonicación para hacerlos adecuados para la oxidación húmeda.	Tratamiento de aguas residuales biorresistentes.	Dhale, y Mahajani, 1999
Reactor fotoquímico (proceso UV/H ₂ O ₂) seguido de lodos activos incluyendo un clarificador	Residuos fenólicos	Disminución del THR.	Se alcanza una degradación efectiva y económicamente factible.	Edalaimanesh et al., 2008
Fotocatalisis continuo tipo suspensión con una membrana de fibra hueca inmersa - Micro-ultrafiltración (MF/UF)	No indica	Mejoramiento del flujo crítico en las membranas.	Remoción de la DCO por encima del 90% con una modesta dosis de AlCl ₃ (12 mg/L).	Erdel et al., 2008
Reactor de biopelícula de lecho en movimiento (RBLM)	Aguas residuales	Biomasa se encuentra como suspendido y en biopelícula.	Una disminución de la temperatura afecta negativamente las reacciones biológicas, pero de manera positiva la solubilidad del oxígeno en el agua; estos efectos son más favorablemente compensados en un RBLM que en uno de lodos activos. Esto es porque la cinética global es limitada principalmente por la difusión del oxígeno del grueso de a solución a la biopelícula.	Falletti y Conte, 2007
UVy-ozono, UVy H ₂ O ₂ Oxidación por Ultrasonido/ozono, sonofotocatalítico - sonofotocatalítico	No indica	<ul style="list-style-type: none"> Generación reforzada de los radicales de hidroxilo. Incremento de la turbulencia por el ultrasonido. 	<ul style="list-style-type: none"> Un mayor velocidad de degradación Se elimina la resistencia a la transferencia de masa. 	Gogate y Pandit, 2004
Adsorción – Floculación – Microfiltración	Agua de alcantarilla	<ul style="list-style-type: none"> Pretratamiento de floculación. Pretratamiento de Adsorción. 	<ul style="list-style-type: none"> Pretratamiento de la adsorción incrementó la remoción orgánica hasta en más del 90% Se redujo la declinación del flujo de permeación en la microfiltración por la incorporación de esos métodos de pretratamiento. 	Guo et al., 2004
Biomasa adherida a portadores en lodos activos	No indica	Se incrementa la concentración de biomasa inmovilizada.	<ul style="list-style-type: none"> Reduce la dependencia del proceso de un clarificador secundario. Se dispone de un reducido volumen del reactor. Se incrementa la estabilidad del sistema. Se mejora el rendimiento del proceso. 	Jianlong et al., 2000, Oyandel et al., 2003
Precipitación química y reactor biológico de membrana (RBM)	Aguas residuales de chanchería	Precipitación química como pretratamiento.	<ul style="list-style-type: none"> Se requiere menor THR. Remoción total DBO, DCO, turbidez y NH₃-N fueron 99.5%, 99.4%, 99.8% y 98.2% respectivamente. 	Kornboonraksa, 2009
Lodos activos usando portadores de biomasa	Aguas residuales municipales	<ul style="list-style-type: none"> Se duplica la concentración de biomasa. Una mayor área superficial para la inmovilización de microorganismos y aumento de la capacidad de adsorción. 	Se duplica la capacidad de tratamiento sin volumen adicional.	Lee et al., 2002, Oyandel et al., 2003
Adsorción por carbón activado/Reactor biológico de membrana	Industria Petroquímica	<ul style="list-style-type: none"> Crecimiento de una biopelícula sobre la superficie del carbón activado. Inmersión del bioreactor de membrana comparado al de conexión externa. 	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollo de una población específica para la degradación de los componentes tóxicos. Menor espacio y equipos auxiliares reducen el costo. 	Oyandel et al., 2003 Lesage et al., 2008

Reactor biológico de membrana	Aguas residuales típicas	<ul style="list-style-type: none"> La membrana actúa como una barrera absoluta para la materia suspendida y microorganismos. Alto TRS (más de 50 días) favoreciendo el desarrollo de microorganismos de lento crecimiento. El uso de la membrana hace que el proceso se haga más compacto. 	Lesjean <i>et al.</i> , 2005
Lodos activos – Contactor Biológico Rotativo (CBR)	Diferentes tipos	<ul style="list-style-type: none"> Se introduce una fase de crecimiento adherido en un sistema típico de crecimiento en suspensión. Se previene formación de espuma debido a la formación de una mezcla densa de gránulos de lodos activos y CPA. La unidad CBR suministra una cantidad considerable de biomasa adherida al disco. Durante su movimiento el CBR consigue oxígeno de la atmósfera y por lo tanto no se requiere oxígeno adicional. Se incrementa la biomasa efectiva en la cámara de aireación tan alto como 7000 mg/l. La biomasa extra que se encuentra adherida puede separarse con facilidad no generando problemas de sedimentación. 	Mazumder y Dikshit, 2004
Proceso de ultrafiltración- carbón activado	Planta de aceite vegetal	Presencia de partículas de carbón con altas capacidades de adsorción.	Mohammadi, y Esmaeilfar, 2005
Anóxico/microaerófilo combinado con aerobio	Industria textil	<ul style="list-style-type: none"> Menor Tiempo Hidráulico de Retención (THR). Presencia de tratamiento aerobio. 	Sandhya <i>et al.</i> , 2008
Reactor de Manta de lodos anaerobio de flujo ascendente (UASB) y reactor de esponja colgante de flujo descendente	Aguas residuales municipales	El reactor de esponja es usado como post-tratamiento del UASB.	Tandukara <i>et al.</i> , 2007
Adsorción usando CPA en combinación con filtración por membrana	Aguas residuales domésticas	Evita el ensuciamiento (fouling).	Thiruvenkatachari <i>et al.</i> , 2006
Película fija sumergida y aireada	No indica	<ul style="list-style-type: none"> THR de 2 h con un incremento de 4 veces de la carga orgánica. Introducción del la película fija en el reactor no incrementa el volumen del sistema. 	Tizghadam <i>et al.</i> , 2008
Electrocoagulación con dosificación de cloruro de aluminio polivalente (CAP)	Proveniente de Carnal	Hacen que los floculos tengan grandes áreas superficiales; así Fe(OH) ₃ como una suspensión gelatinosa deviene en un coagulante de alta efectividad.	Una <i>et al.</i> , 2008
Filtración por Membrana-Floculación-Adsorción	Agua residual artificial	<ul style="list-style-type: none"> Pretratamiento de floculación. Pretratamiento de adsorción. 	Vigneswaran <i>et al.</i> , 2004.
Jet Separator Mezclado (JSM) y Contactor Biológico Rotativo (CBR)	Aguas residuales municipales	<ul style="list-style-type: none"> Separación directa de partículas por el JMS y con adición de 5 gm³ Al. 	Watanabe y Iwasaki, 1997
Modificado Reactor Biológico de Membrana (FBM) y proceso combinado biológico-químico	Aguas residuales municipales	<ul style="list-style-type: none"> Se incrementa notablemente el TRS, hasta 50 días. Incremento de la concentración de biomasa. 	Yoon <i>et al.</i> , 2004
Floculación y Adsorción por carbón pulverizado activado (CPA) como pretratamiento al proceso de ultrafiltración	Efluente de alcantarilla tratado biológicamente	Remoción de de los componentes orgánicos hidrofóbicos.	Zhang <i>et al.</i> , 2007
Sistema Resina y Carbón Activado	Agua residual con aceite emulsificado	Formación del enlace de hidrógeno entre las moléculas del hidrocarburo y la parte hidrofílica libre del surfactante.	Zhou <i>et al.</i> , 2008

- a) La naturaleza sinérgica de estos tratamientos se da: i) reforzando la acción efectiva de remoción de contaminantes de algunos de los componentes individuales, ii) reduciendo o eliminando factores adversos de algunos de los tratamientos individuales, iii) aumentando la funcionalidad global de todo el proceso.
- b) Aumento de la eficiencia y operatividad de estos tratamientos en cuanto: i) al incremento del volumen del efluente a tratar, ii) a la remoción de compuestos a los niveles exigidos por la regulación ambiental que los tratamientos convencionales son incapaces de alcanzar, iii) a la capacidad de remover compuestos especiales por su complejidad o efectos altamente tóxicos.
- c) Los tratamientos híbridos son compactos, al integrarse muy estrechamente los procesos individuales, comparado con los sistemas convencionales que requieren más espacio y mayor demanda de trabajo y operatividad ingenieril para lograr la misma eficiencia.
- d) Siendo los sistemas híbridos más compactos y eficientes se hacen más económicos que los sistemas convencionales de tratamiento, estos últimos usualmente individuales y configurados de la manera tradicional.
- e) Los sistemas híbridos que cuentan con procesos biológicos son los más usados y son muy versátiles en el tratamiento de diversos compuestos contaminantes. Asimismo, muestran gran eficiencia y en muchos casos son los más económicos.

CONCLUSIONES

Luego de estudiar y analizar las características, configuraciones y operatividad de los sistemas híbridos de tratamiento, podemos establecer las siguientes conclusiones:

- Estos procesos combinan de manera sinérgica la acción de dos o más tipos de tratamiento individuales; reforzándose

mecanismos deseables, mientras que en otros casos permiten inhibir o eliminar efectos adversos a la operatividad del proceso.

- Los sistemas de tratamiento híbridos son más eficientes que los convencionales; permiten alcanzar satisfactoriamente los niveles ambientales permitidos, pueden tratar sustancias complejas y muy tóxicas así como mayores volúmenes del efluente contaminado. Además, tienen una promisorio capacidad de que el efluente tratado pueda ser reusado.
- Estos sistemas son muy compactos y pueden ser utilizados para la readecuación de plantas de tratamientos existentes o implementación de módulos de tratamiento en lugares de poca disponibilidad de espacio.
- Al ser estos sistemas más compactos y eficientes se hacen más económicos. En algunos casos la economía se traslada a aspectos de operatividad y mantenimiento.
- Se establece que los sistemas híbridos que contengan un proceso biológico serán los más adecuados para tratar los efluentes residuales de la industria textil, porque esta tecnología se adecua a la naturaleza de estos efluentes, que son muy disímiles en composición y contenido de contaminantes así como en volúmenes de producción.
- También se establece el uso prospectivo de los sistemas híbridos, que contengan un proceso biológico, en el tratamiento de cuerpos de agua contaminados por derrames de hidrocarburos provenientes de la explotación del gas natural y petróleo, como también de la industria petroquímica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bohdziewicz J, Sroka E. Application of hybrid systems to the treatment of meat industry wastewater. *Desalination* 198, 2006. 33-40.

- [2] Bohdziewicz J, Sroka E. Integrated system of activated sludge–reverse osmosis in the treatment of the wastewater from the meat industry. *Process Biochemistry* 40, 2005 1517-1523.
- [3] Dhale AD, Mahajani VV. Reactive dye house wastewater treatment. Use of hybrid technology: Membrane, sonication followed by wet oxidation. *Ind. Eng. Chem. Res.* 38, 1999. 2058-2064.
- [4] Edalatmanesh M, Mehrvar M, Dhib R. Optimization of phenol degradation in a combined photochemical–biological wastewater treatment system. *Chemical Engineering Research and Design* 86, 2008. 1243-1252.
- [5] Erdei LN, Arecrachakul S. Vigneswaran. A combined photocatalytic slurry reactor–immersed membrane module system for advanced wastewater treatment. *Separation and Purification Technology* 62, 2008. 382-388.
- [6] Falletti L, Conte L. Upgrading of activated sludge wastewater treatment plants with hybrid moving-bed biofilm reactors. *Ind. Eng. Chem. Res.* 46, 2007. 6656-6660.
- [7] Gogate PR, Pandit AB. A review of imperative technologies for wastewater treatment II: hybrid methods. *Advances in Environmental Research* 8, 2004. 553-597.
- [8] Guo WS, Vigneswaran S, Ngo HH, Chapman H. Experimental investigation of adsorption–flocculation–microfiltration hybrid system in wastewater reuse. *Journal of Membrane Science* 242, 2004. 27-35.
- [9] Hai FI, Yamamoto K, Fukushi K. Hybrid treatment systems for dye wastewater. *Critical reviews in environmental science and technology*, 37, 2007. 315-377.
- [10] Jianlong W, Hanchang S, Yi Q. Wastewater treatment in a hybrid biological reactor (HBR): effect of organic loading rates. *Process Biochemistry* 36, 2000. 297-303.
- [11] Kornboonraksa T, Lee HS, Lee SH, Chiemchaisri C. Application of chemical precipitation and membrane bioreactor hybrid process for piggery wastewater treatment. *Bioresource Technology* 100, 2009. 1963-1968.
- [12] Lee HS, Park SJ, Yoon TI. Wastewater treatment in a hybrid biological reactor using powdered minerals: effects of organic loading rates on COD removal and nitrification. *Process Biochemistry* 38, 2002. 81-88.
- [13] Lesage N, Sperandio M, Cabassud C. Study of a hybrid process: Adsorption on activated carbon/membrane bioreactor for the treatment of an industrial wastewater. *Chemical Engineering and Processing* 47, 2008. 303-307.
- [14] Lesjean B, Rosenberger S, Schrotter JC. Membrane-aided biological wastewater treatment – an overview of applied systems. *Membrane Technology*, August, 2004. 5-10.
- [15] Mazumder D, Dikshit A.K. Hybrid reactor system for wastewater treatment – application and approach of modeling. *Int. J. Environment and Pollution*, 21, 2004.
- [16] Mohammadi T, Esmaeilifar A. Wastewater treatment of a vegetable oil factory by a hybrid ultrafiltration-activated carbon process. *Journal of Membrane Science* 254, 2005. 129-137.
- [17] Oyandel V, Garrido JM, Méndez R. Nuevos biorreactores híbridos para el tratamiento de aguas residuales. *Ingeniería Química*, 2003. 171-178.
- [18] Pons MN, M. do C. Lourenço da Silva, Potier O, Arnos E, Battaglia P. Modelling of an hybrid wastewater treatment plant. *Computer Aided Chemical Engineering*, 2008. Volume 25 907-912.
- [19] Sandhya S, Sarayu K, Swaminathan K. Determination of kinetic constants of hybrid textile wastewater treatment system. *Bioresource Technology* 99, 2008. 5793-5797.

- [20] Tandukara M, Ohashi A, Harada H. Performance comparison of a pilot-scale UASB and DHS system and activated sludge process for the treatment of municipal wastewater. *Water Research* 41, 2007. 2697-2705.
- [21] Thiruvenkatachari R, Shima WG, Lee JW, Aimc RB, Moona H. A novel method of powdered activated carbon (PAC) pre-coated microfiltration (MF) hollow fiber hybrid membrane for domestic wastewater treatment. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 274, 2006. 24-33.
- [22] Tizghadam M, Dagot C, Baudu M. Wastewater treatment in a hybrid activated sludge baffled reactor. *Journal of Hazardous Materials* 154, 2008. 550-557.
- [23] Üna ÜT, Koparal AS, Ögütveren ÜB. Hybrid processes for the treatment of cattle-slaughterhouse wastewater using aluminum and iron electrodes, *Journal of Hazardous Materials* 164, 2009. 580-586.
- [24] Vigneswaran S, Shon HK, Boonthanon S, Ngo HH, Aim RB. Membrane-flocculation-adsorption hybrid system in wastewater treatment: micro and nano size organic matter removal. *Water Science and Technology* 50, 2004. 265-271.
- [25] Watanabe Y, Iwasaki Y. Performance of hybrid small wastewater treatment system consisting of jet mixed separator and rotating biological contactor. *Wat. Sci. Tech.* 35, 1997. 63-70.
- [26] Yoona TI, Lee b HS, Kima CG. Comparison of pilot scale performances between membrane bioreactor and hybrid conventional wastewater treatment systems. *Journal of Membrane Science* 242, 2004. 5-12.
- [27] Zhanga R, Vigneswarana S, Ngoa H, Nguyen H. A submerged membrane hybrid system coupled with magnetic ion exchange (MIEX®) and flocculation in wastewater treatment. *Desalination* 216, 2007. 325-333.
- [28] Zhou Y. B., Tang XY, Hu XM, Fritschi S, Lu J. Emulsified oily wastewater treatment using a hybrid-modified resin and activated carbon system. *Separation and Purification Technology* 63, 2008. 400-406.