

Demostración de la tecnología de membranas anaerobias para el tratamiento de aguas residuales urbanas: Proyecto LIFE MEMORY.

J. Serralta^{1*}, F. Durán¹, M.V. Ruano², A. Robles¹, N. Martí², R. Barat¹, L. Borrás², D. Aguado¹, E. Lladosa², J.B. Jiménez¹, A. Bouzas², E. Jiménez³, A. Seco², C. Thiemig⁴, J. Vazquez-Padín³, J. Ribes², J. Ferrer¹

¹ Institut Universitari d'Investigació d'Enginyeria de l'Aigua i Medi Ambient (IIAMA). Universitat Politècnica de València. Camí de Vera, s/n. 46022 – Valencia. Valencia.

² Departament d'Enginyeria Química. Universitat de València. Avinguda de la Universitat, s/n. 46100 – Burjassot. Valencia.

³ FCC Aqualia S.A. Avenida del Camino de Santiago, 40. 28050 – Madrid. Madrid.

⁴ Koch Membrane Systems, Inc. Huelser Strasse, 410. D-47803 –Krefeld. Alemania.

*jserralt@hma.upv.es

Resumen

El grupo de investigación CALAGUA, formado por investigadores de la Universitat de València y la Universitat Politècnica de València, posee casi 10 años de experiencia en la investigación de procesos de membranas anaerobias para el tratamiento de aguas residuales urbanas, siendo uno de los primeros grupos en proponer la tecnología de membranas anaerobias (tecnología AnMBR) como alternativa a los tratamientos aerobios convencionales.

El grupo CALAGUA, junto con la empresa Koch Membrane Systems, forman parte del consorcio liderado por la empresa FCC Aqualia para desarrollar un proyecto del Programa LIFE+ titulado “Membrane for Energy and Water Recovery” (LIFE MEMORY). Este proyecto tiene como objetivo principal demostrar las ventajas que ofrece la tecnología AnMBR para la recuperación de recursos y energía del agua residual urbana. Para ello, está prevista la operación de una planta a escala demostración ya construida en la EDAR de Alcázar de San Juan (Ciudad Real). El proyecto permitirá desarrollar e implementar un protocolo para el diseño, control y operación de plantas de tratamiento basadas en la tecnología AnMBR y pretende ser un referente para extender la aplicación de esta tecnología a nivel internacional. El grupo CALAGUA participa en el diseño, operación y control de la planta.

Los principales resultados esperados en el Proyecto LIFE MEMORY (LIFE13 ENV/ES/001353) son: reducción en al menos un 70% del consumo energético por m³ de agua tratada en comparación con procesos convencionales, pudiendo alcanzarse una producción neta de energía en escenarios concretos; reducción de hasta un 80% de las emisiones de CO₂ derivadas de la oxidación de materia orgánica, disminuyendo considerablemente la huella de carbono de las EDAR; reducción en al menos un 25% de la superficie de implantación necesaria para una EDAR; y reducción de hasta un 50% de la producción de biosólidos. El proyecto comenzó en julio de 2014 y tendrá una duración estimada de 4 años.

Palabras Clave: AnMBR, membranas, proyecto demostración, recuperación de recursos, tratamiento anaerobio.

Introducción

Los biorreactores anaerobios de membranas (AnMBR) permiten eliminar la materia orgánica del agua residual sin necesidad de aporte de oxígeno, lo que supone una reducción importante del gasto energético asociado al proceso de eliminación de materia orgánica (que en procesos de fangos activados supone hasta 2,5 kWh·m⁻³). Asimismo, permiten la recuperación de energía en forma de biogás, y reducen la producción de fangos hasta en un 90% (Jeison, 2007). Por tanto, los sistemas AnMBR constituyen una tecnología prometedora para el tratamiento del agua residual urbana.

El grupo de investigación CALAGUA comenzó en el año 2008 a estudiar esta tecnología en planta piloto a escala demostración para el tratamiento de agua residual urbana (Giménez *et al.*, 2011; Ribes *et al.*, 2013). La baja carga de este tipo de aguas se compensa con el bajo TRH al cual es posible operar el reactor anaerobio con la ayuda del sistema de separación por membranas, que retiene totalmente la biomasa, pudiéndose alcanzar tiempos de retención celular (TRC) elevados que permiten la eliminación anaerobia de materia orgánica incluso a temperaturas bajas (Giménez *et al.*, 2012a; 2014). La filtración mediante membranas de ultrafiltración resultó tener menos problemas de los esperados, pudiéndose alcanzar flujos netos transmembrana del mismo orden que en los sistemas de membranas aerobias. Además, se observó que las necesidades de limpieza química de las membranas fueron mucho menores que en sistemas de membranas aerobias (Robles *et al.*, 2012a; 2012b; 2013).

La experiencia obtenida de la operación de esta planta piloto ha permitido el desarrollo herramientas de soporte a la decisión basadas en modelos de simulación del proceso AnMBR y herramientas de análisis de costes económicos y ambientales (Pretel *et al.*, 2015a; 2016a; 2016b). A partir de estas herramientas se desarrolló una metodología de diseño de los sistemas AnMBR validada para diferentes escenarios (Ferrer *et al.*, 2015; Pretel *et al.*, 2015b).

Con el objetivo de demostrar las ventajas que ofrece la tecnología AnMBR para la recuperación de recursos y energía del agua residual urbana, la CE financió, bajo el Programa LIFE+, el proyecto titulado "Membrane for Energy and Water Recovery" (LIFE MEMORY), liderado por la empresa FCC Aqualia en el que participan el grupo CALAGUA y la empresa Koch Membrane Systems. En este trabajo se describen los principales objetivos del proyecto y los resultados obtenidos hasta el momento.

Proyecto LIFE MEMORY

Más de 500 millones de habitantes en Europa generan cada año alrededor de 27 billones de m³ de agua residual doméstica. Las actuales EDAR requieren un elevado consumo de energía para tratar esta gran cantidad de agua residual. Como ejemplo, la energía total consumida por las EDAR en Alemania es de 4.400 GWh·año⁻¹, alrededor de un 1% del consumo total neto de electricidad de este país.

El proyecto LIFE MEMORY pretende dar una solución, basada en la tecnología AnMBR, que permita reducir la huella de carbono disminuyendo el consumo de energía eléctrica (y por tanto las emisiones de CO₂) y reutilizando el biogás producido en el tratamiento del agua residual. Para ello, está prevista la operación de una planta escala demostración en la EDAR de Alcázar de San Juan (Ciudad Real). La planta ha sido diseñada a una escala suficiente para poder disponer de equipos comerciales de las dimensiones adecuadas, lo que permitirá obtener datos fiables del balance energético del sistema. Se trata de una planta demostración completa y funcional que permitirá estudiar los parámetros fundamentales de diseño y operación necesarios para poder extender o replicar el sistema de tratamiento a escala real, incluyendo los sistemas de recuperación, tratamiento y uso del biogás obtenido y su transformación en energía renovable para el autoconsumo en la propia planta.

La planta piloto (ver Figura 1) consiste básicamente en un reactor anaerobio de 42 m³ de volumen total conectado a tres tanques de membranas, de 0,8 m³ de volumen cada uno. Cada tanque incluye un módulo comercial de membranas de ultrafiltración (PURON® Koch Membrane Systems (PSH 41), 0,03 μm pores) dando una superficie de membranas total de 41 m² cada uno.

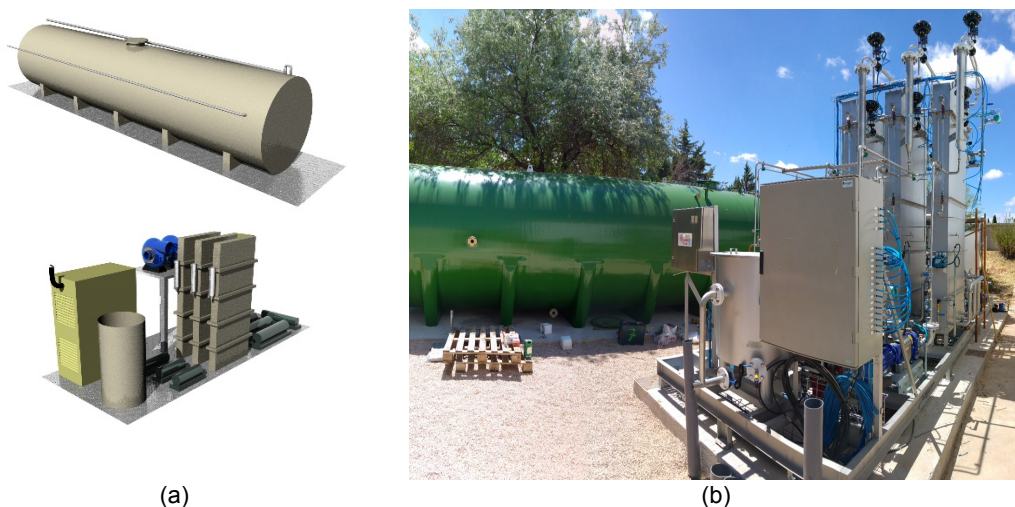


Figura 1. Esquema 3-D de la planta piloto (a) y vista general de la planta piloto (b)

La planta ha sido diseñada utilizando las herramientas de simulación desarrolladas por el grupo de investigación CALAGUA y siguiendo la metodología propia del grupo de investigación, teniendo en cuenta las características del agua residual urbana de Alcázar de San Juan (Tabla 1) y las limitaciones de tamaño máximo de la planta para permitir su transporte en contenedores de tamaño estándar. Los parámetros de diseño básicos que se utilizaron son: concentración de sólidos máxima de 15000 mg·L⁻¹ en los tanques de membranas y caudal máximo de recirculación de fangos a través de los tanques de membranas de 3Q.

La temperatura del agua utilizada para el diseño de la planta fue de 10°C, que corresponde al menor valor promedio mensual del agua. Con estos criterios, se simuló la planta bajo diferentes valores de TRC y temperatura para obtener el mínimo TRC necesario para cada temperatura, comprobando la calidad del efluente y el biogás obtenido. Los resultados obtenidos mostraron que para tratar el agua a la mínima temperatura (10°C) se requiere un TRC de 80 días y la capacidad de tratamiento de la planta es de 31 m³·d⁻¹. Por el contrario, para tratar el agua a 25°C, un TRC de 32 días es suficiente y se puede tratar hasta 78 m³·d⁻¹ en la misma planta.

Tabla 1. Caracterización del agua residual Afluente a la planta piloto.

Parámetro	Unidades	Valor
Temperatura	°C	10 – 25
COD _{TOT}	mg·L ⁻¹	661,0
% COD _{SOL}	%	40,2
BOD _{LIM}	mg·L ⁻¹	543,7
% BOD _{SOL}	%	42,5
VFA	mg·L ⁻¹	26,6
ALK	mg CaCO ₃ ·L ⁻¹	385,0
TSS	mg·L ⁻¹	200,0
% VSS	%	81,3
SO ₄ ²⁻	mg S·L ⁻¹	107,3
NH ₄ ⁺	mg N·L ⁻¹	38,8
NO ₂ ⁻	mg N·L ⁻¹	0,0
NO ₃ ⁻	mg N·L ⁻¹	0,0
Total Nitrogen	mg N·L ⁻¹	51,7
PO ₄ ³⁻	mg P·L ⁻¹	3,6
Total Phosphorus	mg P·L ⁻¹	5,1

Los principales resultados esperados en el Proyecto LIFE MEMORY (LIFE13 ENV/ES/001353) son: reducción en al menos un 70% del consumo energético por m³ de agua tratada en comparación con procesos convencionales, pudiendo alcanzarse una producción neta de energía en escenarios concretos; reducción de hasta un 80% de las emisiones de CO₂ derivadas de la oxidación de materia orgánica, disminuyendo considerablemente la huella de carbono de las EDAR; reducción en al menos un 25% de la superficie de implantación necesaria para una EDAR; incremento de la calidad del efluente para permitir su reutilización; y reducción de hasta un 50% de la producción de fangos (biosólidos).

Par conseguir estos objetivos se ha planteado la realización de las siguientes tareas: diseñar, construir y operar la planta demostración, evaluar la calidad del efluente obtenido, optimizar el balance energético del tratamiento del agua residual, evaluar diferentes condiciones de operación para encontrar el funcionamiento óptimo del proceso, maximizar la cantidad de metano recuperado del efluente, minimizando las emisiones a la atmósfera (Giménez *et al.*, 2012b), obtener los parámetros críticos para el diseño y operación de sistemas a escala real, y finalmente, establecer los criterios y las pautas para la monitorización y control del proceso a escala real.

En definitiva, el proyecto LIFE MEMORY permitirá desarrollar e implementar un protocolo para el diseño, control y operación de plantas de tratamiento basadas en la tecnología AnMBR y pretende ser un referente para extender la aplicación de esta tecnología a nivel internacional.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación recibida del Programa LIFE+ de la Comisión Europea para llevar a cabo el Proyecto LIFE MEMORY titulado "Membrane for Energy and Water Recovery" (LIFE13 ENV/ES/001353).

Referencias

1. J. Ferrer, R. Pretel, F. Durán, J.B. Giménez, A. Robles, M.V. Ruano, J. Serralta, J. Ribes, A. Seco (2015) Design methodology for submerged anaerobic membrane bioreactors (AnMBR): A case study. *Separation and Purification Technology*. 141, 378-386.
2. J.B. Giménez, A. Robles, L. Carretero, F. Durán, M.V. Ruano, M.N. Gatti, J. Ribes, J. Ferrer, A. Seco (2011) Experimental study of the anaerobic urban wastewater treatment in a submerged hollow-fibre membrane bioreactor at pilot scale. *Bioresour. Technol.* 102(19), 8799–8806.
3. J.B. Giménez, L. Carretero, M.N. Gatti, N. Martí, L. Borrás, J. Ribes y A. Seco. (2012a) Reliable method for assessing the COD mass balance of a submerged anaerobic membrane bioreactor (SAMBR) treating sulphate-rich municipal wastewater. *Water Science & Technology*. 66 (3), 494-502.
4. J.B. Giménez, N. Martí, J. Ferrer, A. Seco (2012b) Methane recovery efficiency in a submerged anaerobic membrane bioreactor (SAnMBR) treating sulphate-rich urban wastewater: Evaluation of methane losses with the effluent. *Bioresource Technology*. 118, 67-72.
5. J.B. Giménez, N. Martí, A. Robles, J. Ferrer, A. Seco (2014) Anaerobic treatment of urban wastewater in membrane bioreactors (MBRs): Evaluation of seasonal temperature variations. *Water Science and Technology*. 69(7), 1581-1588.
6. D. Jeison (2007), *Anaerobic membrane bioreactors for wastewater treatment: feasibility and potential applications*, PhD Thesis, Wageningen University, The Netherlands.
7. J. Ribes, A. Robles, J.B. Giménez, F. Durán, L. Carretero, M.V. Ruano, N. Martí, J. Serralta, L. Borrás, F. García-Usach, J. Ferrer, A. Seco (2013) The submerged anaerobic membrane reactor: a new technology for urban wastewater treatment and availing of resources to the full. *InfoEnviro* (81), 53-55.
8. A. Robles, F. Durán, M.V. Ruano, J. Ribes, J. Ferrer (2012) Influence of total solids concentration on membrane permeability in a submerged hollow-fibre anaerobic membrane bioreactor. *Water Sci. Technol.* 66(2), 373-384.
9. A. Robles, M.V. Ruano, J. Ribes, J. Ferrer (2012) Sub-critical long-term operation of industrial scale hollow-fibre membranes in a submerged anaerobic MBR (HF-SAnMBR) system. *Separation and Purification Technology* 100, 88–96.
10. A. Robles, M. V. Ruano, J. Ribes, J. Ferrer (2013) Factors that affect the permeability of commercial hollow-fibre membranes in a submerged anaerobic MBR (HF-SAnMBR) system. *Water Research* 47, 1277–1288.
11. R. Pretel, A. Robles, M.V. Ruano, A. Seco, J. Ferrer (2015a) Economic and environmental sustainability of submerged anaerobic MBR-based (AnMBR-based) technology as compared to aerobic-based technologies for moderate-/high-loaded urban wastewater treatment. *Journal of Environmental Management*, 166, 45-54.
12. R. Pretel, F. Durán, A. Robles, M.V. Ruano, J. Ribes, J. Serralta, J. Ferrer (2015b) Designing an AnMBR-based WWTP for energy recovery from urban wastewater: The role of primary settling and anaerobic digestion. *Separation and Purification Technology*, 156(2), 132-139.
13. R. Pretel, A. Robles, M.V. Ruano, A. Seco, J. Ferrer (2016a) Filtration process cost in submerged anaerobic membrane bioreactors (AnMBRs) for urban wastewater treatment. *Separation Science and Technology*, 51(3), 517-524.
14. R. Pretel, A. Robles, M.V. Ruano, A. Seco, J. Ferrer (2016b) A plant-wide energy model for WWTPs: application to AnMBR technology. *Environmental Technology* (DOI:10.1080/09593330.2016.1148903)