

CARACTERIZACION E IMPACTO DEL RAGGING EN UN BIORREACTOR DE MEMBRANAS.

I. Rodríguez-Roda^{1,2}, S. Gabarrón¹, M. Dalmau¹, H. Monclús^{2,3} y J. Comas¹

¹LEQUIA. Institut de Medi Ambient. Universitat de Girona. Campus Montilivi. 17071 Girona.

²ICRA (Catalan Institute for Water Research). c/ Emili Grahit 101. 17003. Girona.

³GS Inima Environment. c/ Mas Casanovas 46-64. 08025 Barcelona.

irodriguezroda@icra.cat

Resumen

Pese a que la literatura científica remarca el ensuciamiento de las membranas (*fouling*) como uno de los mayores problemas de operación de los biorreactores de membrana (MBR), lo cierto es que la experiencia a escala real indica que existen otros problemas que se producen con mayor frecuencia y tiene un mayor impacto sobre el proceso. El *clogging*, o acumulación de sólidos que taponan la entrada de los canales de los MBR, es uno de ellos, y puede tener su origen en la mala distribución del aire (*sludging*) o en la presencia de fibras (*ragging*). Precisamente esta comunicación muestra los resultados de caracterización e impacto del fenómeno del *ragging* en una EDAR MBR situada en Catalunya. Concretamente se caracterizan y se indica el posible origen de las fibras que provocan el problema, se evalúa la eficacia de los distintos tipos de limpiezas de las membranas que se pueden llevar a cabo, y se apunta a las posibles actuaciones que se pueden llevar a cabo para minimizar el problema y facilitar la operación de las instalaciones.

Palabras Clave

Biorreactores de membranas, aguas residuales, *ragging*, *clogging*, fibras

Introducción

Un BioReactor de Membranas (BRM) es una modificación del proceso de fangos activos para el tratamiento de las aguas residuales, donde la separación del fango del agua tratada se realiza por filtración a través de un sistema de membranas, en sustitución de la decantación secundaria, obteniéndose un efluente de mayor calidad, prácticamente libre de sólidos en suspensión y microorganismos (Judd, 2011). La principal limitación de los MBR viene dada por sus costes energéticos, significativamente superiores a los de los procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales.

Un análisis exhaustivo del estado del arte muestra claramente que el estudio de los mecanismos del ensuciamiento de las membranas (*fouling*) y su relación con la producción de sustancias poliméricas extracelulares (EPS), parece ser la principal preocupación de la comunidad científica (Dvorák et al., 2011). Sin embargo, encuestas a explotadores y operarios del proceso (Santos et al., 2011) y estudios nacionales de benchmarking (Gabarrón et al., 2011) han revelado la importancia de otros problemas operacionales como la colmatación de las membranas (*clogging*), la ineficacia del pretratamiento, o las espumas biológicas.

El *clogging* se produce debido a una acumulación de sólidos que taponan la entrada de los canales de los MBR, afectando significativamente la permeabilidad de las membranas (Judd, 2011). Se puede producir tanto en planta piloto (Zsirai et al., 2012) como a escala real (Manson et al., 2010; Stefanski et al., 2011), y su origen puede ser debido a la acumulación de fangos (*sludging*) debido a un mal diseño (aireación, estructura del módulo), a una distribución insuficiente o incorrecta del aire, o a un pretratamiento ineficaz (Zsirai et al., 2012; Lebegue et al., 2009), o a la formación de estructuras estables tipo tejido constituidas por fibras celulósicas y pelos (*ragging*) (Judd, 2011; Mason et al., 2010). Es por ello que el *ragging* se produce principalmente en los MBR municipales, que reciben descargas significativas de productos de

lana y algodón (lavadoras), así como restos de material celulósico y pelos (Frechen et al., 2008; Stefanski et al., 2011; Schier et al., 2009).

El objetivo de este artículo es el de diagnosticar y caracterizar el *ragging* de una EDAR MBR a escala real, evaluar su impacto sobre el proceso y proponer las posibles actuaciones que permitan optimizar su operación.

Materiales y Métodos

La EDAR MBR objeto de estudio presenta dos líneas paralelas de microfiltración que tratan un máximo de $3,225 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Las membranas, de fibra hueca, tienen una superficie total de 5808 m^2 y un SAD_m (demanda específica de aire respecto a la superficie de membrana) de $0.405 \text{ N} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$. Las etapas previas a la filtración son un pretratamiento con rejillas de gruesos (8 cm), desarenador, tanque de homogenización, carrusel biológico, y tamiz de finos de 1 mm de paso de luz. Los ciclos de filtración están predeterminados por la casa comercial (10 minutos de filtración seguidos de 40 segundos en contracorriente) y el flujo mediano de operación es de $27 \text{ LMH} (\text{L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})$.

Durante el estudio se llevaron a cabo distintos tipos de limpieza:

- Limpieza de mantenimiento (MC): contralavado durante 45 minutos con una solución de NaClO $140 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ y EDTA $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.
- Limpieza de recuperación (RC): contralavado y dejar en remojo las membranas durante 6-12 horas con una solución básica o ácida:
 - o Limpieza de recuperación básica (bRC): RC con una solución de hipoclorito sódico $1,500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.
 - o Limpieza de recuperación ácida (aRC): RC con una solución de ácido cítrico $1,500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.
- Limpieza manual (DC): extracción de los casetes de membranas y eliminación manual de los sólidos adheridos en la superficie de las membranas.

Las analíticas habituales del proceso de depuración se realizaron según APHA standard methods (2005), mientras que la identificación y caracterización de las fibras se llevó a cabo según la metodología descrita por la norma UNE-EN-ISO (Aenor 2011). Para medir la propensión al *ragging* se adaptó el ensayo de Stefanski et al (2011).

Los flujos de permeado, la presión transmembrana (TMP) y la permeabilidad (K , $\text{LMH} \cdot \text{bar}^{-1}$) fueron monitorizados en tiempo real a partir de los datos de los PLCs y el SCADA del sistema de control.

Resultados y Discusión

La evolución de la permeabilidad (K) de ambas líneas de filtración (A y B) se muestran en la figura 1. Se pueden observar valores de permeabilidad extremadamente bajos, en algunos casos inferiores a los $60 \text{ LMH} \cdot \text{bar}^{-1}$, en general considerados insostenibles para la operación del MBR (Judd, 2011). Se llevaron a cabo hasta 14 (10 MC y 4 RC) y 16 (12 MC y 4 RC) limpiezas químicas respectivamente en los tanques de las líneas A y B hasta los días 270 y 280 en los que se realizó la extracción de los casetes y la limpieza manual.

La recuperación mediana de la permeabilidad después de cada limpieza aplicada se muestran en la figura 2. Las de recuperación se mostraron al menos el doble de eficaces que las de mantenimiento, y a su vez las limpiezas ácidas se mostraron más eficaces que las básicas. Sin embargo, las únicas limpiezas que realmente permitieron recuperar la permeabilidad hasta valores deseados fueron las manuales. Por desgracia, en menos de diez días la permeabilidad disminuyó de nuevo hasta valores del 68-88% respecto el valor previo a la limpieza.

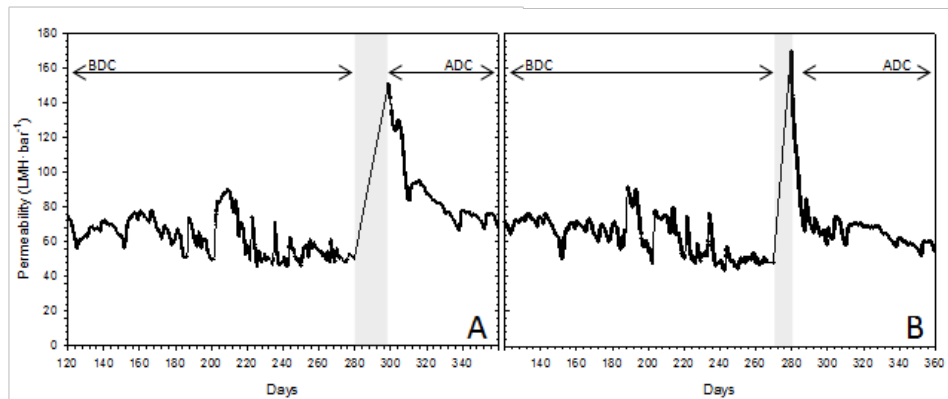


Figura 1. Evolución de la permeabilidad en ambas líneas de filtración (A y B). El sombreado corresponde a las limpiezas manuales. BDC: antes de la limpieza manual; ADC: posterior a la limpieza manual.

La inspección visual de las membranas llevada a cabo durante la limpieza manual de las mismas permitió corroborar la presencia significativa de un material viscoso adherido a la parte superior de los casetes y en el interior de los mismos, dificultando su movimiento y taponando alguna de las conducciones. Mientras que los parámetros rutinarios del proceso de MBR (sólidos en suspensión, índice volumétrico de fangos, tiempo de succión capilar, sustancias poliméricas extracelulares, etc.) mostraron valores estándar indicando una buena calidad de los lodos, el ensayo de propensión al ragging demostró la reconstitución de sólidos en suspensión estructurados en forma de fibras o trapos estables de entre unos 50 y 120 mm de longitud. Estas estructuras no se veían afectadas por la aplicación de detergentes o hipoclorito, corroborando los resultados de Stefanski et al. (2011).

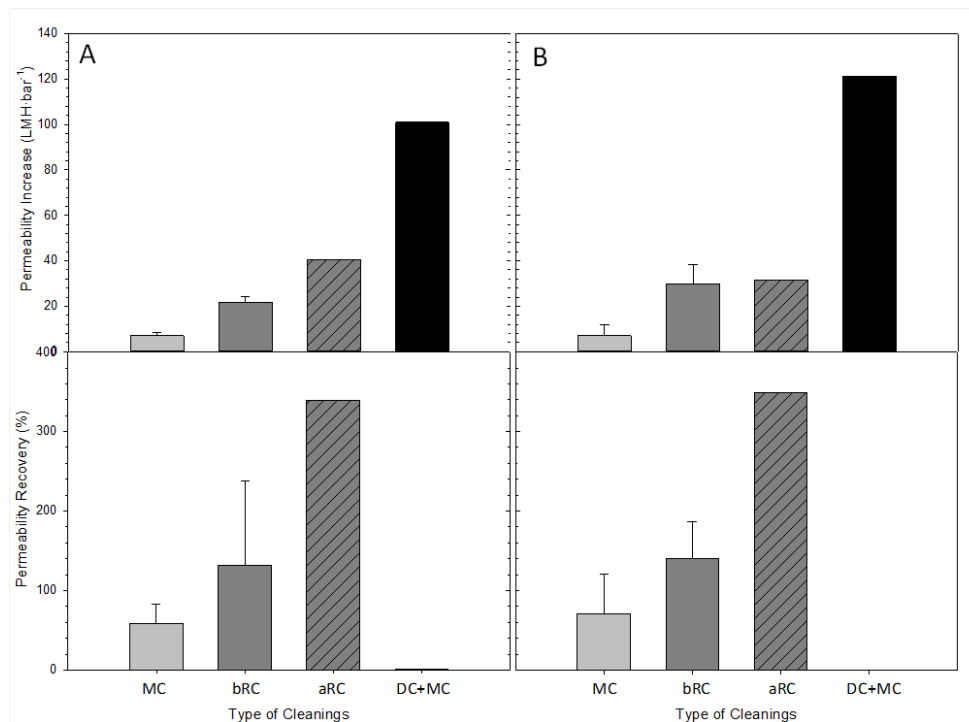


Figura 2. Porcentaje mediano de recuperación de la permeabilidad y aumento de la permeabilidad después de cada limpieza aplicada.

El análisis óptico permitió identificar el algodón como el componente primario de dichas fibras. Un análisis complementario del influente reveló la presencia elevada de fibras textiles de menos de 1 mm de longitud y a una concentración aproximada de $40 \pm 20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. La caracterización de dichas fibras identificó una composición principal de algodón y el material celulósico (73%), junto a material de base proteica como la lana y otros pelos de origen animal (22%) y algunos restos de poliamidas (3%) y poliéster (2%).

Conclusiones

Se ha llevado a cabo un estudio de caracterización e impacto de una EDAR MBR afectada por *ragging*. La presencia de fibras textiles de pequeño tamaño en el influente se apunta como la principal causa de la formación de acumulaciones de sólidos con la consistencia y estabilidad de un tejido en forma de trapo que taponan las conducciones del MBR y hace disminuir dramáticamente la permeabilidad de las membranas. Las limpiezas habituales de mantenimiento y de recuperación presentan unos porcentajes bajos de recuperación. Por otro lado, la aplicación de limpiezas manuales permite alcanzar una recuperación significativa de la permeabilidad, aunque esta vuelve a los valores iniciales (previos a la limpieza) en apenas diez días.

Así pues, la optimización de la operación de un MBR afectado por *ragging* es todavía un reto de difícil solución. Una disminución del paso de luz del tamiz previo a la filtración (aunque el tamaño de fibras suele ser inferior), la reducción del flujo de operación, y la aplicación frecuente de limpiezas manuales, se antojan de momento como las únicas actuaciones posibles para aumentar la permeabilidad del sistema mientras no se consiga evitar la entrada constante de fibras en el influente de la EDAR.

Agradecimientos: *Esta investigación fue parcialmente financiada por la Agencia Catalana del Agua (ACA) y el Ministerio de Ciencia e Innovación (CTM2009-1472-C02-01). Los autores quieren agradecer explícitamente el apoyo del personal de las instalaciones y de la empresa explotadora (DAM Aguas), así como la colaboración en el análisis de resultados del Prof. Simon Judd (Cranfield University).*

Referencias (Arial 8 pt negrita)

1. (APHA), A. P. H. A. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington DC, American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) & Water Environment Federation (WEF).
2. AENOR (2011). "Textiles - Quantitative chemical analysis -." Part 1, 4, 7, 11 and 12 (ISO 1833-1:2011, 1833-4:2011, 1833-7:2011, 1833-11:2011, 1833-12:2011).
3. Dvořák, L., Gómez, M., Dvořáková, M., Růžičková, I. and Wanner, J. (2011). "The impact of different operating conditions on membrane fouling and EPS production." *Bioresource Technology* 102(13): 6870-6875.
4. Frechen, F. B., Schier, W. and Linden, C. (2008). "Pre-treatment of municipal MBR applications." *Desalination* 231(1-3): 108-114.
5. Gabarrón, S., G. Ferrero, M. Dalmau, L. Moragas, J. Robusté, J. Comas and I. Rodríguez-Roda (2011). Benchmark study of full-scale membrane bioreactors for municipal wastewater treatment in Catalonia. 2nd International Conference on Membrane Bioreactors (MBR) for Wastewater Treatment. Kuala Lumpur (Malaysia). 25th-26th April 2011.
6. Judd, S. (2011). *The MBR Book. Principles and Applications of Membrane Bioreactors for water and wastewater treatment.* Oxford, UK, Elsevier.
7. Lebegue, J., Heran, M. and Grasmick, A. (2009). "Membrane air flow rates and HF sludging phenomenon in SMBR." *Desalination* 236(1-3): 135-142.
8. Mason, S., Ewert, J., Ratsey, H., Sears, K. and Beale, J. (2010). Flat sheet membrane bioreactors operational experiences - a New Zealand perspective. Proceeding in NZWWA Conference, Christchurch, Canterbury, New Zealand.
9. Santos, A., Ma, W. and Judd, S. J. (2011). "Membrane bioreactors: Two decades of research and implementation." *Desalination* 273(1): 148-154.
10. Schier, W., Frechen, F. and Fischer, S. (2009). "Efficiency of mechanical pre-treatment on European MBR plants." *Desalination* 236 (1-3): 85-93.
11. Stefanski, M., Kennedy, S. and Judd, S. (2011). "The determination and origin of fibre clogging in membrane bioreactors." *J. Membr. Sci.* 375(1-2): 198-203.
12. Zsirai, T., Buzatu, P., Aerts, P. and Judd, S. (2012). "Efficacy of relaxation, backflushing, chemical cleaning and clogging removal for an immersed hollow fibre membrane bioreactor." *Water Research* In press: DOI: 10.1016/j.watres.2012.05.004.