



Proyecto Remembrane: recuperación de las membranas de ósmosis inversa al final de su vida útil

Santiago Sahuquillo ingeniero senior de proyectos del Grupo Typsa

Sergio Muñoz investigador del Departamento de Innovación y Tecnología de FCC Aqualia

Carles Pérez investigador de I+D del Leitat Centro Tecnológico

Este artículo recoge las acciones finales del proyecto Life+ Remembrane, cuyo principal objetivo es la recuperación de las membranas de ósmosis inversa utilizadas en plantas desalinizadoras que han alcanzado el final de su vida útil después de entre 5 y 10 años de operación. Actualmente, el sistema de gestión de las membranas desechadas es a través de vertederos controlados. También hay que tener en cuenta que el coste de una membrana nueva puede oscilar, dependiendo del número de unidades a sustituir, entre 350 y 600 €/ud. Así, lo que hoy se considera un residuo, puede convertirse en un valioso subproducto recuperado mediante el proceso Remembrane con costes inferiores a 100 €/módulo.

Palabras clave

Ósmosis inversa, membranas, sostenibilidad, recuperación, desalación, residuos.

Remembrane project: recovery of reverse osmosis membranes at its ends of life

This work presents the final actions of Life+ Remembrane project, whose main objective is the recovery of reverse osmosis membranes used in desalination plants that have reached its end of life after between 5-10 years of operation. Currently, membrane's management system is disposed landfill, and the cost of a new membrane depends of the number of units to replace, between 350 and 600 €/units. So, if membrane is now considered a residue that is sent to disposal, it can become a valuable by-product for re-use: less than 100 €/module costs is estimated by Remembrane process.

Keywords

Reverse osmosis, membrane, sustainability, recovery, desalination, waste.



1. Introducción

Actualmente hay unas 14.000 plantas de desalinización operando en más de 100 países. La ósmosis inversa es la tecnología utilizada para producir el 60% del volumen del agua generada en estas instalaciones (GWI DesalData/IDA, 2013). Se trata de una tecnología que ha avanzado significativamente, pero limitada en cuanto a la durabilidad de las membranas poliméricas, las cuales se desgastan debido a los continuos ciclos de ensuciamiento y a la limpieza química.

En el proyecto Life+ Remembrane se han desarrollado diversos tratamientos físicos y químicos con el fin de recuperar estas membranas. Una vez recuperadas, pueden reutilizarse en el mismo proceso de desalinización o en otras aplicaciones que no requieran de una salinidad muy baja en el agua producto. Las aplicaciones inicialmente previstas son las indicadas por el RD 1620/2007, legislación de aguas regeneradas que establece que son necesarios tratamientos terciarios y de desinfección para ciertos usos:

- Urbanos: residencial y servicios.
- Agrícolas: riego de cultivos.

- Usos industriales: torres de refrigeración y condensadores evaporativos.

- Usos recreativos: fuentes ornamentales, riego de campos de golf y jardines, etc.

- Usos ambientales: recarga de acuíferos.

Sin embargo, las membranas recuperadas pueden ser utilizadas en otros procesos no necesariamente de reutilización de aguas, como son procesos de desendurecimiento o desnitrificación de aguas de pozo, procesos industriales donde no se requiera una salinidad muy baja, etc.

2. Objetivos

Los objetivos de este proyecto se resumen en 4 puntos:

- Innovación tecnológica. La estrategia propuesta mediante el proyecto Life+ Remembrane permite tratar y probar mediante la construcción de dos prototipos cualquier tipo de membrana de ósmosis inversa al final de su vida útil, y después evaluar su estabilidad con aguas residuales reales.

- Valorizar un residuo. El aumento de la demanda de agua desaliniza-

da tiene como consecuencia que cada año se construyen más plantas de ósmosis inversa y, por lo tanto, aumente el número de membranas instaladas, lo que implica un mayor número de membranas que llegan al final de su vida útil cada año y que actualmente se envían al vertedero. Como se ha indicado anteriormente, el precio de una membrana nueva está alrededor de los 300-600 euros, a los que hay que sumar los costes de eliminación de las membranas viejas. El precio objetivo del proceso de reutilización de membranas es de 100 euros/unidad, lo que entre otros efectos repercutirá en una reducción significativa de los costes de los tratamientos terciarios mediante ósmosis inversa, donde las tasas de reposición de membranas suelen ser muy elevadas por las características del agua residual.

- Mejorar la viabilidad del agua regenerada. Las políticas y legislación promueven la reutilización del agua, pero el relativamente alto coste del agua regenerada sigue siendo un obstáculo. La tecnología propuesta en este proyecto tiene, entre otros objetivos, conseguir un precio de la membrana recuperada muy inferior al de una membrana nueva. Esto

Figura 1. Imágenes de las líneas de limpieza y test de membranas del prototipo de recuperación de membranas.



permitirá, por un lado, disminuir los costes de construcción de las plantas de tratamiento terciario (actualmente en plantas de tamaño medio el coste de las membranas está alrededor del 15-20% del coste total de la instalación) y, por el otro lado, los costes de operación, lo que promoverá la construcción de un mayor número de instalaciones de tratamiento terciario mediante ósmosis inversa y, por lo tanto, el aumento de la calidad del agua obtenida frente los tratamientos fisicoquímicos usados habitualmente. Además, la utilización de la ósmosis inversa permitirá también cumplir con los siguientes preceptos legislativos:

- Requerimientos del RD 1620/2007, legislación de aguas regeneradas que establece que son necesarios tratamientos terciarios y de desinfección.
- Recomendaciones de concentración máxima de aguas reutilizadas para agricultura: metales pesa-

dos (0,001 mg/L de Hg; 0,01 mg/L de Cd; y 0,02 mg/L de Ni) y sales inorgánicas (2.000 mg/L TDS).

- Divulgación. La difusión de esta nueva tecnología es considerada como uno de los objetivos más importantes de los proyectos financiados con el programa Life+ con el fin de llegar al mayor número de usuarios finales posibles, principalmente a las administraciones encargadas de la elaboración de la legislación en materia de agua y de residuos, así como a empresas especializadas en tratamiento de aguas, usuarios finales, comunidades de regantes y al público en general.

3. Método

Una vez las membranas ya han superado su vida útil en diversos tipos de instalaciones, se deben de realizar tareas de diagnóstico de su estado para poder determinar los tratamientos más adecuados para conseguir su reutilización. Estos

procesos, así como los posteriores de tratamiento y de pruebas piloto, se describen a continuación.

3.1. Identificación y caracterización del ensuciamiento de las membranas

El proceso se inicia con la autopsia de las membranas y tiene como objetivo testear su estado físico e identificar los posibles depósitos inorgánicos u otro tipo de ensuciamiento presentes en su superficie. Los resultados obtenidos permitirán establecer un protocolo adecuado de limpieza.

El siguiente paso fue realizar pruebas de limpiezas en laboratorio a escala de 'celdas' con trozos de membrana para comprobar la efectividad del tipo de tratamiento diseñado antes de su aplicación en la planta piloto.

3.2. Construcción de una planta piloto de test y limpieza de membranas

La planta piloto de recuperación de membranas (**Figura 1**) se emplazó en las instalaciones de la planta potabilizadora mediante ósmosis inversa que abastece a la localidad de Denia, en Alicante, y que gestiona FCC Aqualia. El prototipo de recuperación de membranas permite:

- Evaluar mediante un test estándar de agua salobre las condiciones en las que se encuentran las membranas, inicialmente y tras los tratamientos de limpieza, para determinar el estado de las membranas en cuanto a su caudal de producción y rechazo de sales.
- Realizar un tratamiento de limpieza química, según el tipo de ensuciamiento determinado en el laboratorio, y finalmente comprobar las propiedades de las membranas

Figura 2. Imágenes del pretratamiento y tubos de ósmosis inversa del prototipo de prueba de membranas.





tratadas mediante un nuevo test de agua en condiciones estándar.

3.3. Construcción de una planta piloto de prueba de membranas recuperadas

La planta móvil para la prueba de membranas recuperadas se ubicó en la EDAR de Talavera de la Reina que gestiona FCC Aqualia para ser empleada como tratamiento terciario.

El efluente de la decantación secundaria se introduce en el prototipo donde inicialmente se pretrata mediante un filtro de malla autolimpiante para eliminar sólidos, para posteriormente realizarse una microfiltración y, finalmente, ser sometida a un tratamiento de ósmosis inversa (**Figura 2**).

4. Resultados

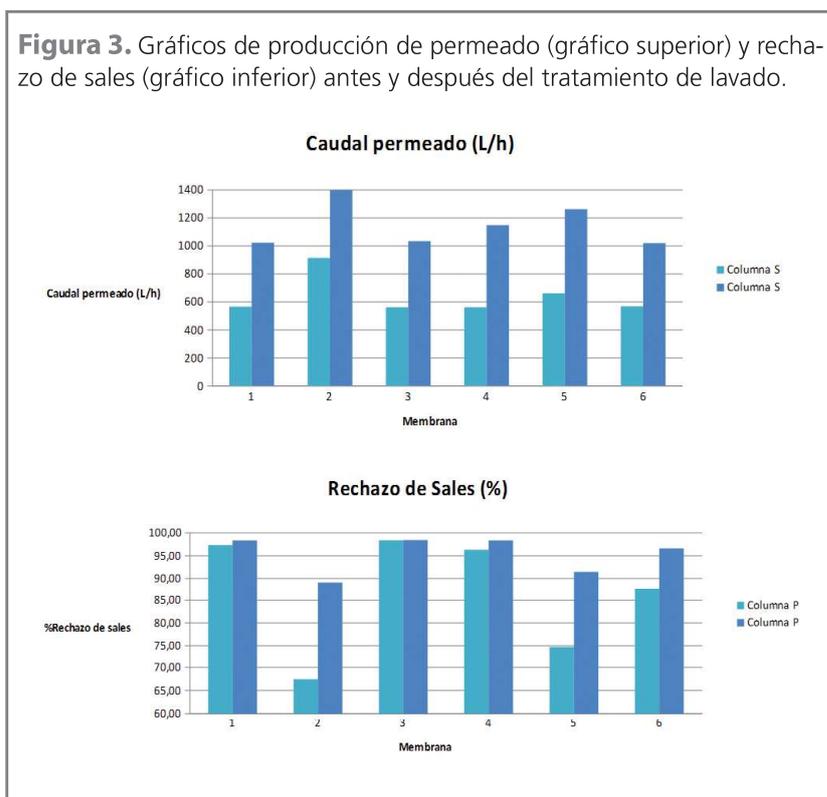
4.1. Resultados del prototipo de recuperación de membranas. EDAS Racons en Denia

De los escenarios con diferentes tipos de membranas y ensuciamientos; a modo de ejemplo, se muestran los resultados (**Figura 3**) para las membranas tipo BW-F (tratamiento de agua salobre con ensuciamiento orgánico). En este caso se aplicó una combinación de lavados alcalinos y ácidos innovadores logrando un aumento notable de la producción de agua osmotizada e incluso del rechazo de sales para alguna de las membranas.

4.2. Resultados del prototipo de pruebas de membranas. EDAR Talavera de la Reina

Una vez recuperadas las membranas BW-F, se enviaron al prototipo de prueba de membranas ubicado en la EDAR de Talavera de la Reina para ser probadas como tratamiento terciario de agua depurada den-

Figura 3. Gráficos de producción de permeado (gráfico superior) y rechazo de sales (gráfico inferior) antes y después del tratamiento de lavado.



tro de uno de los tubos de la planta piloto. Las **Tablas 1 y 2** recogen los resultados obtenidos en los análisis y operación del prototipo de prueba de membranas tipo BW-F como terciario de depuradora.

Con estas pruebas se llegó a la conclusión que dichas membranas

BW-F que fueron recuperadas al final de su vida útil, podrían aplicarse perfectamente como tratamiento terciario en depuración, ya que las analíticas del agua producida cumplen con la calidad más estricta de la legislación actual para aguas regeneradas.

Tabla 1. Resultados obtenidos en los análisis y operación del prototipo de prueba de membranas tipo BW-F como terciario de depuradora.

Muestras	Línea de agua (clarificador secundario EDAR)	Saida permeado BW-F
Coliformes totales	$1,4 \times 10^3$ cfu/mL	0,07 cfu/mL
<i>Escherichia coli</i>	$7,0 \times 10^2$ cfu/mL	0,04 cfu/mL
<i>Legionella spp</i>	ausencia	ausencia

Tabla 2. Resultados obtenidos en los análisis y operación del prototipo de prueba de membranas tipo BW-F como terciario de depuradora.

P_{Feed} (bar)	Recuperación (%)	Conductividad entrada (μ S/cm)	Conductividad salida (μ S/cm)	Rendimiento (%)
7,9	50	542	33	93,7

5. Evaluación ambiental de la estrategia Remembrane

Mediante la metodología estandarizada de análisis de ciclo de vida (ACV o LCA, en inglés) se ha realizado la evaluación ambiental de la estrategia Remembrane como opción para recuperar y así alargar la vida útil de la membrana de ósmosis inversa.

Los objetivos del ACV son la cuantificación del impacto ambiental potencial de la tecnología que propone Remembrane para la recuperación de membranas y la identificación del beneficio ambiental en relación al escenario base definido y la deposición final en vertedero.

En el alcance del estudio se han incluido la fase de construcción de la planta y la de operación de esta para recuperar las membranas. En esta última, se han evaluado diferentes escenarios teniendo en cuenta los distintos tipos de membrana y ensuciamiento. En el análisis se ha considerado como unidad funcional la recuperación de una membrana para ser reutilizada en el mismo proceso de osmosis del que procede.

Una de las conclusiones del estudio es que, fijándose en la categoría de calentamiento global y comparándolo con el escenario base, Remembrane reduce la huella de carbono entre un 32-45% en función del escenario de operación. Si se considera la

La estrategia Remembrane evita por membrana recuperada entre 27 y 39 kg de CO₂ equivalente, en comparación con el escenario base

estrategia Remembrane como una etapa más en el ciclo de vida de la membrana (**Figura 4**) la cantidad de kg de CO₂ equivalentes evitados por membrana recuperada es de entre 27 y 39 kg de CO₂ equivalente, en comparación al escenario base.

6. Conclusiones

La investigación llevada a cabo a través del proyecto Life+ Remembrane permite concluir que:

- Prácticamente cualquier membrana usada es recuperable, pudiéndose, como mínimo, conseguir en el test de agua salobre en todas las membranas probadas un caudal de 1.000 L/h de agua osmotizada y un rechazo de sales (NaCl) superior al 96%

- Para aplicaciones como el tratamiento terciario de aguas residuales urbanas para riego, es decir, donde no se requiera una salinidad muy baja en el producto, es posible obtener membranas recuperadas de alto caudal y por tanto, baja presión. De esta forma, se reducirían tanto los costes de implantación como de explotación de estas plantas de tratamiento terciario, no solo los debidos al coste de reposición, sino también en los costes energéticos. De esta forma se estaría favoreciendo la reutilización de aguas.

- Los costes de recuperación de una membrana según la experimentación llevada a cabo en la planta piloto fue inferior a los 95 euros/unidad. Hay que destacar que en una planta de recuperación a escala industrial estos costes deberían/podrían rebajarse y ser bastante inferiores.

- El uso de membranas recuperadas en una planta desaladora (de

media o baja presión) conllevaría a que las membranas pasaran a ser el elemento de menos coste de la instalación y permitiría que se pudieran reducir y simplificar los pretratamientos del proceso de ósmosis inversa dado que, según se ha comprobado en el proyecto, las membranas resisten lavados mucho más agresivos que los recomendados por los fabricantes de las mismas.

- La estrategia desarrollada en el proyecto Life+ Remembrane es una estrategia sostenible ambientalmente ya que proporciona beneficios ambientales en relación al escenario de partida. La estrategia reduce el consumo de recursos derivados de la fabricación y distribución de nuevas membranas y alarga la vida útil de la membrana recuperándola. Y lo más destacado es que lo hace de una forma sostenible, ya que los beneficios ambientales obtenidos son superiores al impacto ambiental potencial para del proceso de recuperación de la membrana.

7. Agradecimientos

Life+ Remembrane (Recuperación de las membranas de ósmosis inversa al final de su vida útil) es un proyecto cofinanciado por la Comunidad Europea a través del instrumento financiero Life+, con el contrato LIFE 11ENV/ES/626. Participan cinco socios y dos ayuntamientos, que acogen los prototipos, y que son: FCCAqualia, Tyspa, Ambicat, Agència de Residus de Catalunya y Leitat, como socios; y los ayuntamiento de Denia y Talavera de la Reina. También participa Grupo Oceanía Metal, como proveedor de los prototipos. 

Figura 4. Ciclo de vida de la membrana en el marco del proyecto Remembrane.

