



Estudio de viabilidad y mejora de esquemas integrados de ultrafiltración y ósmosis inversa para la producción de agua potable a partir de agua superficial

Verónica García Molina Technical Service and Development Leader de Dow Chemical Ibérica

Blanca Salgado Technical Service and Development Engineer de Dow Chemical Ibérica

Sandra Casas Project Manager de Cetaqua, Centro Tecnológico del Agua

Olga Ferrer Project Manager de Cetaqua, Centro Tecnológico del Agua

Ignacio Martín Project Manager de Cetaqua, Centro Tecnológico del Agua

Xavier Bernat Alternative Water Resources Unit Manager de Cetaqua, Centro Tecnológico del Agua

José Mesa director de la Estación de Tratamiento de Agua Potable de Sant Joan Despí, de Aigües de Barcelona

Los ensayos y resultados que se presentan en este artículo forman parte del Proyecto LIFE+ UFTEC, cuyo propósito es evaluar y caracterizar tecnologías viables para la producción de agua potable a partir de agua superficial, utilizando la ultrafiltración (UF) directa como una etapa de pretratamiento para la ósmosis inversa (OI), como alternativa al pretratamiento convencional en ETAP. El trabajo describe el estudio de viabilidad y la posterior optimización de las condiciones de operación de una planta piloto de UF y OI que trata agua superficial procedente del río Llobregat ubicada en la ETAP de San Joan Despí. El estudio concluye la viabilidad de la tecnología para el tratamiento, manteniendo una excelente calidad del agua ultrafiltrada a pesar de los cambios en el agua de alimentación. Describe además el proceso de optimización llevado a cabo para conseguir un aumento en la conversión del proceso del 89 al 96,5%.

Palabras clave

Agua potable, potabilización, agua superficial, ultrafiltración, ósmosis inversa, calidad del agua, optimización de procesos.

Feasibility study and improvement of integrated ultrafiltration and reverse osmosis schemes for the production of drinking water from surface water

The tests and results presented in this article are part LIFE+ UFTEC Project. The purpose of the project is to evaluate and characterize viable technologies for the production of drinking water from surface water, using ultrafiltration (UF) directly as a pretreatment for reverse osmosis (RO), as an alternative to conventional pretreatment drinking water treatment plants (DWTP). The paper describes the feasibility study and the subsequent optimization of the operating conditions of a pilot plant including UF and RO technologies, when treating surface water from the Llobregat River, and located in San Joan Despí DWTP. The study concludes the viability of the technology for the treatment, maintaining an excellent quality of ultrafiltered water, despite changes in the feedwater. It describes the optimization process carried out to achieve an increase in the conversion from 89 to 96.5%.

Keywords

Drinking water, drinking water production, surface water, ultrafiltration, reverse osmosis, water quality, processes' optimisation.



1. Introducción

La crisis hídrica causada por la escasez natural del recurso, el incremento de la población, la creciente urbanización y la contaminación histórica del agua, agravada por el cambio climático, se ha convertido en uno de los problemas más destacados del siglo XXI. Aparte de mejorar la eficiencia de los procesos de tratamiento para presentar un mejor aprovechamiento del producto, las normativas sanitarias y ambientales cada vez son más exigentes no solo en la calidad final del recurso, sino también en el proceso en sí. En efecto, los procesos más sostenibles, en términos de consumo energético, de productos químicos y de generación de residuos son priorizados frente a procesos menos eficientes. En paralelo, la necesidad de reducir costes refuerza la necesidad de minimizar los consumos y maximizar el producto.

La tecnología de membranas ha evolucionado de forma significativa en la última década, posicionándose como una solución tecnológica cada vez más aplicada en estaciones de tratamiento de agua potables (ETAP) (Pressdee *et al.*, 2006) debido a las ventajas que presenta. En particular, la implantación de membranas de baja presión, entre las cuales se halla la microfiltración (MF) y la ultrafiltración (UF), ha aumentado de forma prácticamente exponencial (Gimbel, 2003), encontrándose un 60% de sus aplicaciones en el campo del agua potable (David *et al.*, 2008). Las membranas de baja presión han ido ganando aceptación como el pretratamiento preferido a la ósmosis inversa (OI) (Pearce, 2008), debido a la calidad superior que proveen en comparación con otros tratamientos.

El objetivo principal de este trabajo reside en la evaluación y optimización de un sistema innovador de tratamiento de aguas potables superfi-

ciales: ultrafiltración directa, seguida por ósmosis inversa. Mediante dicha optimización se pretende, por una parte, conseguir una disminución de los costes asociados con la producción y abastecimiento de agua a la población y, por la otra, asegurar la sostenibilidad medioambiental y la continuidad del proceso. Más específicamente, se pretende evaluar la combinación de UF y OI como posible alternativa a esquemas basados en pretratamientos convencionales.

Este estudio se centra en la planta potabilizadora de Sant Joan Despí (**Figura 1**), ya que resulta un caso atractivo dada la complejidad y variabilidad de la calidad del agua a tratar. Señalar que este trabajo refleja parte de las tareas llevadas a cabo dentro del proyecto UFTEC (LIFE09 ENV/ES/000467 UFTEC) cofinanciado por la Comisión Europea (CE): www.life-uftec.eu.

2. Materiales y métodos

Como se ha mencionado anteriormente, el estudio descrito en este trabajo se ha llevado a cabo en el contexto de la planta potabilizadora de Sant Joan Despí (Barcelona), que trata agua del río Llobregat. A

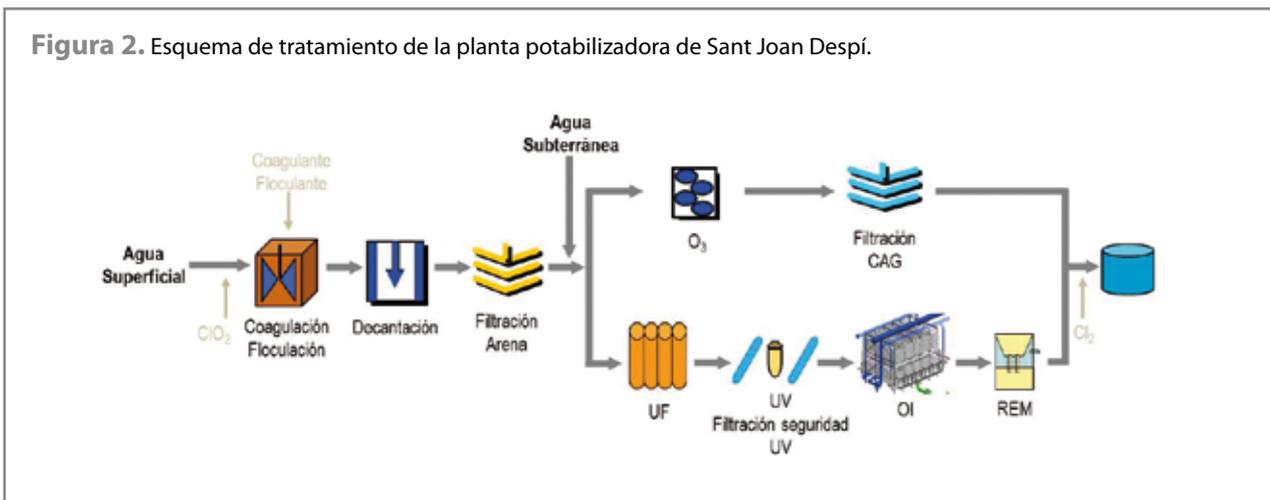
su llegada a la captación, el agua superficial se caracteriza por un alto contenido de sólidos en suspensión (valores máximos de hasta 800 mg/L) y fluctuaciones continuas de calidad. En particular, el río sufre episodios periódicos de sequía, seguidos de episodios puntuales de lluvias torrenciales en los cuales el agua no es captada, por lo que el máximo aprovechamiento del recurso es de gran importancia.

El esquema de pretratamiento actual de la potabilizadora de Sant Joan Despí consiste en un encadenamiento de procesos que incluyen una etapa fisicoquímica (coagulación-floculación), seguida por una decantación y filtración por arena. A continuación, aproximadamente la mitad del caudal se trata mediante una línea avanzada consistente en una ultrafiltración sumergida, desinfección ultravioleta, filtros de cartucho y ósmosis inversa, seguido de una remineralización. La otra mitad del caudal pretratado se somete a etapas de ozonización y filtración por carbón activo granular (GAC) (**Figura 2**). Finalmente las dos corrientes se unen, cloran y se distribuyen.

Figura 1. Vista de la ETAP de Sant Joan Despí.



Figura 2. Esquema de tratamiento de la planta potabilizadora de Sant Joan Despí.



Este proyecto estudia la viabilidad de una posible sustitución del pretratamiento convencional existente (coagulación-floculación/decantación/filtración por arena) por una ultrafiltración presurizada (Dow Ultrafiltration) para lograr un esquema de tratamiento estable, capaz de lidiar con diferentes calidades de agua de alimentación. Adicionalmente, se pretende conseguir una mejora considerable en la calidad del agua pretratada. El esquema innovador planteado (ultrafiltración directa seguida por ósmosis inversa) representa, además, una configuración

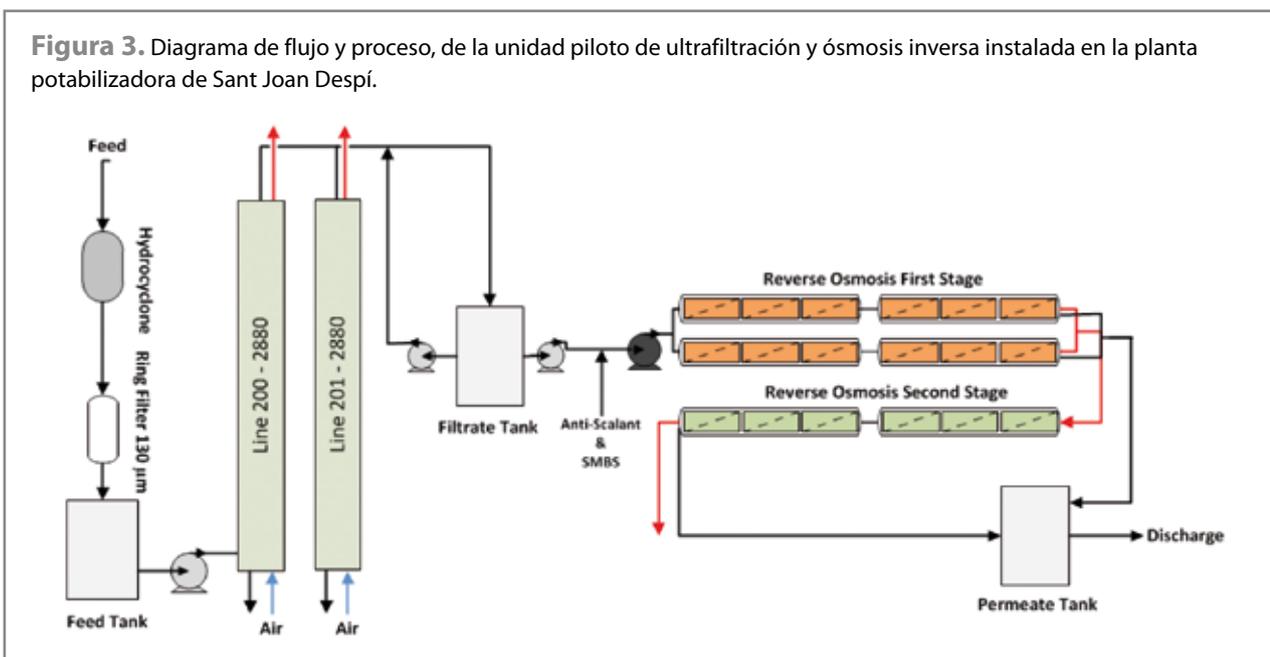
más compacta, robusta, fácilmente escalable y automatizable.

Para validar la idoneidad del esquema propuesto (UF+OI), se instala en la potabilizadora una unidad piloto. El prototipo en cuestión (**Figura 3**) consta de un hidrociclón y un filtro de anillas (Arkal, 200 micras) como pretratamiento, dos líneas de ultrafiltración (Dow Ultrafiltration) independientes (5,0 m³/h de capacidad nominal cada una) y una línea de ósmosis inversa (Filmtec Membranes) con dos etapas en serie capaz de alcanzar conversiones de hasta el 70% (4,5 m³/h de capacidad nomi-

nal de entrada). La planta dispone de equipos de monitorización en línea de conductividad, pH, potencial redox, temperatura y turbidez de alimentación y agua ultrafiltrada.

El seguimiento de la operación incluye, además, la toma de muestras puntuales de agua con asiduidad, tanto en la etapa de ultrafiltración como en la de ósmosis inversa. El objetivo de esta toma de muestras y el estudio de las mismas es la monitorización del rechazo de iones independientes, así como el seguimiento de ciertos parámetros microbiológicos.

Figura 3. Diagrama de flujo y proceso, de la unidad piloto de ultrafiltración y ósmosis inversa instalada en la planta potabilizadora de Sant Joan Despí.





3. Resultados obtenidos

Tras el periodo de comisionado y puesta en marcha del prototipo, se procede al seguimiento de la operación continua y estable del proceso, y posteriormente a la optimización del mismo.

Durante el periodo de estabilización inicial, se concluye que la viabilidad de la operación con altos rangos de conversión en la etapa de ultrafiltración, sin necesidad de procesos fisicoquímicos previos, incluso a flujos relativamente altos de operación. Las condiciones de operación alcanzadas durante la estabilización se muestran en la **Tabla 1**.

Durante los meses de operación de la instalación en estas condiciones, se demuestra que el proceso responde de manera favorable incluso en eventos de alto contenido en sólidos suspendidos (turbidez > 900 NTU). En el mismo periodo se comprueba la producción continua y sostenible, por parte de la ultrafiltración, de un efluente de excelente calidad (independientemente de las características fisicoquímicas del agua cruda a tratar, se obtienen valores de turbidez inferiores a 0,1 NTU habitualmente) que permite el funcionamiento con inferiores costes de explotación en la ósmosis inversa, aparte de una posible prolongación de su vida útil.

Tabla 1. Condiciones de operación de la ultrafiltración-ósmosis inversa durante el periodo de estabilización.

Ultrafiltración	Dow Ultrafiltration SFD-2880
Flujo de operación (L/m ² h)	50
Ciclos de filtración (min)	30 - 60
Frecuencia de contralavado químico (horas)	12
Conversión (%)	> 90
Ósmosis inversa	Filmtec BW30XFR-4040
Flujo de operación (L/m ² h)	20
Conversión (%)	65

Posteriormente, y durante la etapa de optimización, el objetivo del proyecto se centra en conseguir un aumento del rendimiento o conversión del proceso de ultrafiltración. Para ello se establecen fases de operación progresivas, en las que se procede a la modificación individual y paulatina de parámetros de trabajo, seguido del estudio del impacto en el rendimiento del sistema de ultrafiltración. La modificación de los parámetros de operación que sigue estando asociada a una operación estable, se mantienen, mientras que aquellos que desencadenan inestabilidad en el proceso se descartan.

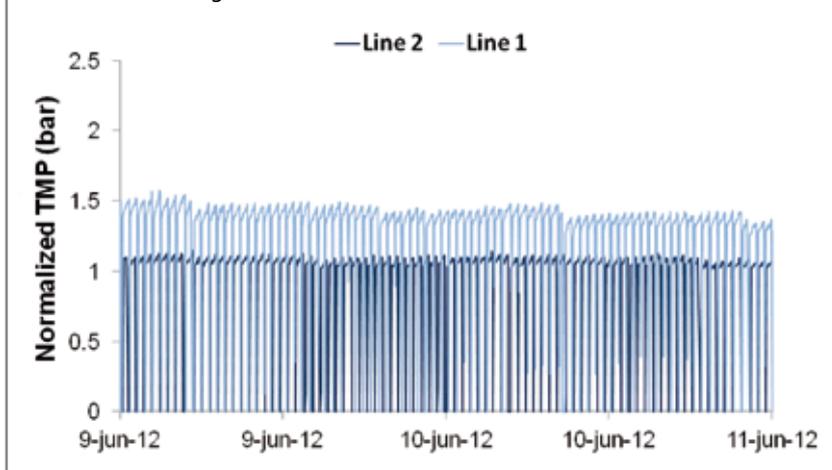
A modo de ejemplo, la modificación los ciclos de filtración revela la posibilidad de aumentar los tiempos de 30 a 60 minutos, lo que ha repercutido significativamente en el ren-

dimiento global del proceso (y, por consiguiente, en su economía). Otro de los parámetros que han dado lugar a un estudio detallado ha sido la duración de cada una de las etapas que forman parte de la secuencia del contralavado (aireación, contralavado superior e inferior, drenaje y aclarado). Obviamente, cuanto menor es la duración del contralavado, más favorable resulta la economía del proceso. La **Tabla 2** describe la duración de cada uno de los procesos del contralavado en cada una de las dos líneas de ultrafiltración. Mediante la operación de cada una de las líneas en diferentes condiciones, se comprueba que la tendencia al ensuciamiento es similar en las dos líneas (**Figura 4**), pese a utilizarse diferentes duraciones de las etapas que conforman las secuencias de

Tabla 2. Condiciones de operación de la ultrafiltración en el periodo de optimización (Línea 1 y Línea 2).

Condiciones de operación		Línea 1	Línea 2
Flujo de operación		50 (L/m ² h)	
Frecuencia de contralavado		30 min	
Secuencia de contralavado	Aireación	30 s	75 s
	Drenaje	20 s	20 s
	Contralavado superior/aireación	30 s	60 s
	Contralavado inferior	30 s	15 s
	Aclarado	30 s	30 s
Frecuencia de contralavado químico		12 horas (350 mg/L) NaClO	

Figura 4. Comparación de la evolución de la presión transmembrana en la Línea 1 y Línea 2 de ultrafiltración con diferente duración de las secuencias de contralavado según la Tabla 2.



contralavado en cada una de ellas. Esto permite concluir que la nueva secuencia de contralavado ensayada en la Línea 1 es igualmente efectiva, a pesar de su corta duración.

Adicionalmente, se han llevado a cabo ensayos de reducción de la frecuencia de contralavado químico (CEB), reduciendo considerablemente la necesidad del mismo.

Las mejoras sucesivas realizadas en los parámetros de operación finalmente han permitido aumentar el rendimiento hidráulico de la instalación respecto al agua captada de un valor inicial del 88,9% hasta un valor de 96,5%, en las condiciones ensayadas.

Los datos analíticos demuestran, además, que la calidad de ultrafiltrado es consistente, independientemente de las condiciones del agua de alimentación al sistema, y más que adecuada para alimentación a ósmosis inversa. En particular, durante toda la duración del estudio, no fue necesaria la realización de ninguna limpieza en la ósmosis inversa durante todo el periodo de prueba. Este fenómeno está directamente asociado a una disminución del consumo de químicos en el sistema, a una reducción del tiempo

de parada de la instalación y, posiblemente, a un aumento de la vida útil de los elementos de membrana OI. Adicionalmente, la calidad del agua producida, al ser superior que la generada mediante pretratamiento convencional (filtros de arena), permite operar la OI en condiciones más favorables desde el punto de vista del coste final del agua.

4. Conclusiones

El estudio realizado en la unidad piloto de Sant Joan Despí (Barcelona), demuestra la viabilidad y eficiencia de la ultrafiltración directa como etapa de pretratamiento a procesos de membrana mediante ósmosis inversa en plantas potabilizadoras, incluso con aguas superficiales difíciles, sin necesidad de ningún pretratamiento químico tanto en periodos de turbidez elevada como baja.

Los resultados obtenidos demuestran que la posibilidad de alcanzar un rendimiento sostenible incluso en condiciones optimizadas de operación, incluyendo periodos de filtración de mayor duración, la reducción de la duración de las etapas que comprenden el contralavado, y la reducción de la frecuencia de contralavado químico.

El estudio demuestra que la implantación de ultrafiltración más ósmosis inversa para el tratamiento de aguas superficiales de calidad variable en una ETAP equivale a procesos de operación más estables, compactos y sostenibles, y sin necesidad de pretratamientos químicos

En conclusión, mediante la implantación de ultrafiltración directa y ósmosis inversa para el tratamiento de aguas superficiales de calidad variable, se proponen unos esquemas de potabilización de operación más estables, compactos y sostenibles (desde un punto de vista de consumo de reactivos químicos y generación de fangos), dando respuesta así a las necesidades de los operadores y adaptándose a los retos en el campo de la potabilización.

5. Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado gracias al soporte económico del Programa LIFE+ de la CE en el marco del proyecto UFTEC (LIFE09 ENV/ES/000467 UFTEC; www.life-uftec.eu).

Bibliografía

- [1] Pressdee, J.R.; Veerapaneni, S.; Shorney-Darby, H.L.; Clement, J.A.; Van der Hoek, J.P. (2006). Integration of membrane filtration into water treatment systems. AWWA Research Foundation.
- [2] Gimbel, R. (2003). Anforderungen an die Membrantechnik in der Trinkwasseraufbereitung. Aachener Tagung. Siedlungswasserwirtschaft und Verfahrenstechnik. Membrantechnik in der Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung. 3-921955-28-9. Aachen.
- [3] David, H.; Furukawa, P.E.; Ch, E. (2008). A global perspective of low pressure membranes. NWRI Final Project Report, California, Estados Unidos.
- [4] Pearce, G.K. (2008). UF/MF pre-treatment to RO in seawater and wastewater reuse applications: a comparison of energy costs. Desalination, núm. 222, págs. 66-73.