

Optimización del pretratamiento en ósmosis inversa mediante ultrafiltración

Autores: Lluís Altimira (Chemipol, S.A., lluisaltimira@chemipol.com), Irma Herrera (Chemipol, S.A., irmaherrera@chemipol.com)

Resumen:

La calidad del agua de alimentación de las membranas de un proceso de ósmosis inversa condiciona en gran manera la eficiencia del mismo proceso, así como los costes asociados a mantenimiento y duración de estas membranas.

La evolución de las membranas de Scinor, fabricadas mediante tecnología TIPS, permite la sustitución de los filtros de arena en el pretratamiento del agua procedente de captación, mejorando significativamente la calidad de agua producida.

Se realizó por un período de tres meses un pilotaje con una planta piloto equipada con 2 unidades de membranas presurizadas de UF, con un total de 80 m² de superficie de filtración, con agua procedente de captación si ningún tipo de pretratamiento en la Planta Desaladora de agua de mar Las Palmas III (Las Palmas de Gran canaria).

El objetivo principal de este pilotaje era la mejora de la calidad de agua producida utilizando como indicador el SDI del agua producida. Paralelamente, se fijaron objetivos secundarios relacionados con parámetros operativos.

Del análisis de los valores de los distintos parámetros recogidos durante el pilotaje se obtienen conclusiones muy positivas en cuanto a la eficiencia de la UF en relación a las soluciones tradicionales, superando de forma significativa los objetivos inicialmente fijados en calidad de agua producida.

1.- INTRODUCCIÓN

El agua es y ha sido un recurso necesario en la evolución de la humanidad desde sus orígenes. La misma evolución de la humanidad ha implicado un aumento progresivo en la necesidad de disponer de un agua de calidad. Es imposible encontrar ningún aspecto de nuestra vida en la que el agua no esté presente como un recurso imprescindible. La gran explosión demográfica del siglo XX, unida a los avances científicos y técnicos, implicó una creciente demanda de agua que simplemente no es posible cubrir a partir de fuentes de agua dulce, ya sean superficiales o subterráneas. Los regímenes pluviométricos se han visto afectados, siendo mucho más irregulares, apareciendo fenómenos de sequías de forma más frecuente y de mayor duración en ciertas regiones.

La fuente alternativa y que supone la reserva de más fácil acceso de agua son los mares y los océanos, si bien en su estado natural no se pueden considerar aguas de consumo de fácil disposición. Ya desde tiempos muy antiguos se ha estado planteando esta posibilidad, si bien a escala de conversión de agua marina en agua de consumo de forma eficaz, en volúmenes importantes y a precios razonables no se ha podido conseguir hasta mediados del siglo XX.

La metodología actualmente más extendida y que ha demostrado una excelente eficiencia produciendo agua de calidad que puede ser acondicionada en función de su uso final es la ósmosis inversa. Este proceso es en sí mismo de un muy alto coste, tanto operacional por el coste energético de trabajar a presiones por encima de la de presión osmótica, como de inversión y/o mantenimiento debido al coste intrínseco de las membranas de ósmosis inversa. El primer coste indicado, el operacional, se puede reducir significativamente mediante el uso de sistemas de recuperación de energía. El segundo, debe ser tratado desde un punto de vista de la vida útil de las membranas, protegiéndolas de los factores que puedan dañarlas impidiendo su aprovechamiento máximo, al mismo tiempo que puede facilitar el proceso de ósmosis inversa reduciendo la presión requerida para el proceso.

Un factor clave para el éxito de la desalación reside en el pre-tratamiento del agua de alimentación. El agua bruta de alimentación contiene una múltiple variedad de elementos de características físico-químicas muy distintas. Teniendo en cuenta que el proceso de ósmosis inversa está concebido para la separación de las sales minerales, todo aquello que pueda ser eliminado del agua de alimentación previamente redundará en una mayor eficacia del proceso, reduciendo costes y alargando la vida útil de las membranas.

La evolución en estos últimos años de las membranas específicas para el proceso de ultrafiltración, con capacidad de filtrado superior a los filtros de arena, ha facilitado el creciente interés en desarrollar las oportunidades que permite esta tecnología. Algunas ventajas como puedan ser menor tamaño, mayor eficiencia y eficacia, fácil mantenimiento y niveles de inversión aceptables han motivado el interés por esta alternativa.

2.- OBJETIVO

El presente trabajo ha tenido como objetivo una primera aproximación al uso de la tecnología de la ultrafiltración como pretratamiento del agua de mar para producir un agua con una calidad que permita operar el proceso de ósmosis inversa en unas condiciones más favorables.

Se toma como parámetro referencial para la evaluación de los resultados obtenidos del pilotaje con membranas de ultrafiltración de agua de mar el valor obtenido del Índice de Ensuciamiento de Membrana (SDI), así como la reducción obtenida en referencia al agua de captación.

Paralelamente se analizan parámetros operativos del proceso de ultrafiltración, como son caudales y flujos específicos (LMH), y la evolución de la presión transmembrana (TMP).

3.- PLANTA PILOTO

La planta piloto de ultra y micro filtración de CHEMIPOL está construida dentro de un contenedor marítimo que permite su transporte e instalación en cualquier lugar de forma fácil, pudiéndose poner en marcha de forma sencilla y en un tiempo realmente corto.



3.- MEMBRANAS DE ULTRAFILTRACIÓN

La planta piloto se ha equipado para este test con dos membranas de iguales características fabricadas por SCINOR, modelo SMT600-P40. Las características de este modelo de membrana de ultrafiltración están descritas en la siguiente tabla, Tabla 1.

Tabla 1. Membranas de ultrafiltración

Parámetro	
<i>Modelo</i>	SMT600-P40
<i>Tipo</i>	Fibra hueca
<i>Material</i>	PVDF
<i>Filtración</i>	Out/In
<i>Tamaño de poro (nominal)</i>	0,1 µm
<i>Superficie de membrana</i>	40 m ²
<i>Flujo específico (Flux)</i>	40 – 120 LMH
<i>Intervalo de retro lavado</i>	30 – 60 minutos
<i>Air scour</i>	5 – 12 Nm ³ /h
<i>Flujo específico retro lavado</i>	50- 120 LMH
<i>Rango de pH</i>	1 – 11
<i>Rango de pH en CIP</i>	1 – 13
<i>TMP máximo</i>	0,3 Mpa
<i>Concentración máxima SHC</i>	5000 mg/l

Scinor es una empresa relativamente joven con una fuerte implantación en los mercados del sudeste asiático y los EEUU que ha desarrollado un sistema de fabricación de membranas de fibra hueca para ultrafiltración basado en la tecnología TIPS (Thermal Induced Phase Separation) que le permite obtener unas fibras de alta calidad, con unas características específicas que le confieren una resistencia tanto mecánica como química superiores, mediante un proceso totalmente ecológico sin generación de residuos de solventes.

4.- EL AGUA

El pilotaje se ha realizado en las instalaciones de la planta de desalación de Las Palmas III, propiedad de la empresa Emalsa, utilizando como agua de aporte el agua proveniente de la captación abierta de esta planta.

Las características físico-químicas de esta agua de acuerdo a la información facilitada por Emalsa es la descrita a continuación.

Tabla 1. Análisis agua de alimentación

Parámetro	Valor	Unidades
Sabor	0	Índice de dilución
Olor	0	Índice de dilución
Color	< 5	mg/l Pt/Co
Turbidez	0,12	UNF
Conductividad eléctrica a 20 °C	48.000	µS/cm
pH	8,1	
Temperatura	19,8	°C
Calcio	543	mg/l Ca
Dureza	> 400	°F
Magnesio	> 500	mg/l Mg
Sodio	11.300	mg/l Na
Potasio	> 100	mg/l K
Índice de Ryznar	5,10	
Sílice	0,01	mg/l SiO2
Nitratos	1,8	mg/l NO3
Cloruros	21.056	mg/l Cl
Fluoruros	4,3	mg/l F
Fosfatos	< 0,1	mg/l PO4
Sulfatos	2.122	mg/l SO4
Nitritos	< 0,1	mg/l NO2
Bicarbonatos	163	mg/l HCO3
Anhídrido carbónico libre	2,20	mg/l CO2
TAC	13,4	°F
Índice de Langelier	1,5	
STD estimados	36.982	mg/l
SAR	60	
FACTOR	0,77	

5.- PILOTAJE

Se planifica un pilotaje de funcionamiento de las membranas de SCINOR instaladas en la planta piloto en base a dos flujos específicos que nos permitan establecer unas condiciones operacionales óptimas de acuerdo al principal objetivo de reducir los valores de SDI, de forma estable y eficiente.

Las condiciones iniciales de operación son las descritas a continuación.

Tabla 3. Parámetros operacionales 1

Parámetro	Valor
<i>Caudal</i>	5 m ³ /h
<i>Flujo específico</i>	62,5 lmh
<i>Frecuencia Retrolavado</i>	30 min
<i>Frecuencia EFM</i>	30 horas
<i>TMP máxima</i>	1,5 bar

Tabla 4. Parámetros operacionales 2

Parámetro	Valor
Caudal	6 m ³ /h
Flujo específico	75,0 lmh
Frecuencia Retrolavado	25 min
Frecuencia EFM	25 horas
TMP máxima	1,5 bar

El pilotaje se extiende por un período de tres meses, empezando el primero de Abril del 2017.

6.- RECOGIDA DE DATOS Y ANÁLISIS

Durante todo el pilotaje se han registrado distintos parámetros operacionales de la planta piloto de ultrafiltración. Los principales parámetros que se han tenido en cuenta en el análisis y evaluación del funcionamiento y eficiencia del proceso de ultrafiltración son los siguientes.

Tabla 5. Datos registrados

Parámetro	Unidad
Caudal de permeado	m ³ /h
Presión de alimentación	bar
Presión de permeado	bar
Turbidez del caudal de alimentación	NTU
Turbidez del caudal de permeado	NTU
SDI del agua de captación	
SDI del permeado	

Los datos representados de forma bruta tal y como se recogen presentan una dispersión de valores y densidad de los mismos que hace difícil extraer conclusiones de forma eficiente y es preciso por tanto aplicar ciertos filtros que permitan obtener unas curvas de operación e inercias más adecuadas.

En una primera fase de procesamiento de los datos se obtiene un registro único representativo de cada periodo de filtrado entre procesos de retrolavado, EFM y CIP. Con esto podemos ver la evolución de los distintos parámetros operacionales o indicadores que permiten valorar el proceso de ultrafiltración, teniendo en cuenta únicamente el proceso de filtrado sin interferencias de los períodos de limpieza.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	0:00	53	9	3	9	0	0	60	0	0	7	1	80	24	
2	0:01	37	9	3	9	0	0	60	0	0	8	1	80	23	
3	0:02	41	9	3	9	0	0	60	0	0	87	2	81	23	
4	0:03	56	9	3	9	0	0	60	0	0	99	3	81	24	
5	0:04	72	9	3	9	0	0	59	0	0	83	1	83	23	
6	0:05	88	9	3	9	0	0	60	0	0	33	1	81	24	
7	0:06	91	9	3	9	0	0	60	0	0	12	2	83	24	
8	0:07	76	9	3	9	0	0	60	0	0	8	3	80	23	
9	0:08	65	9	3	9	0	0	60	0	0	6	3	81	24	
10	0:09	49	9	3	9	0	0	59	0	0	7	2	83	24	

Ilustración 1

La representación gráfica de estos valores nos da unos gráficos con una muy elevada densidad puntos de difícil interpretación en cuanto al funcionamiento operacional de la ultrafiltración, así como de inercias de la misma que permita tomar decisiones o conclusiones con respecto a tendencias de ensuciamiento.

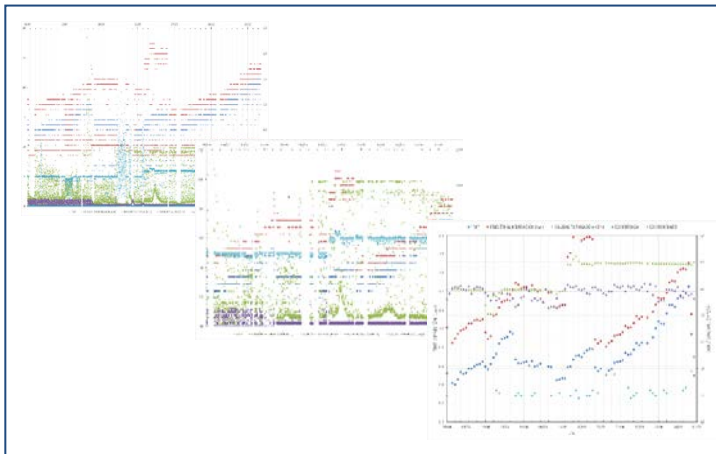


Ilustración 2

El transformar estos datos en valores medios diarios de operación nos permite obtener una visión más nítida en cuanto a las condiciones en que está operando el proceso de ultrafiltración.

7.- EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ULTRAFILTRACIÓN

A la vista de la representación gráfica de los valores procesados podemos definir distintas fases para su análisis independiente, así como una evaluación global de los datos obtenidos para ver posibles correlaciones de valores y comportamiento general de la planta que permiten definir su viabilidad y optimización.

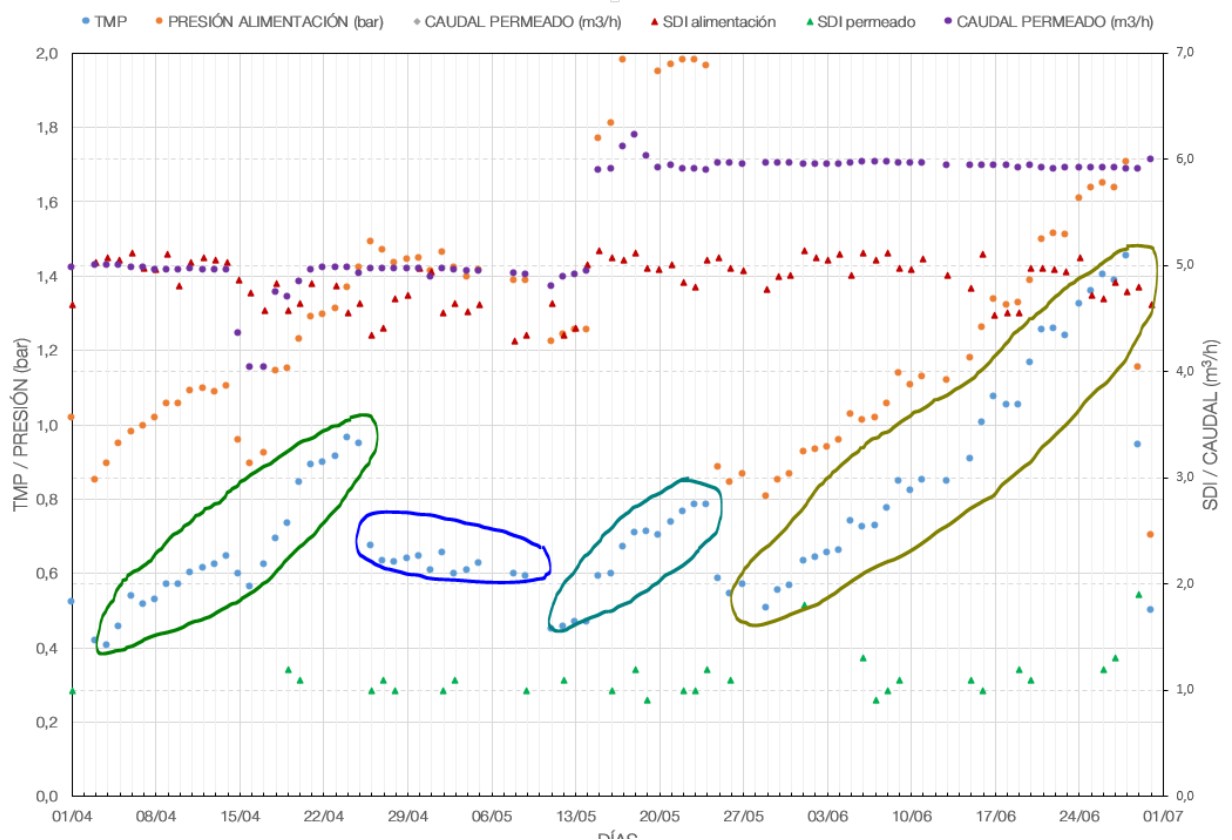


Ilustración 3

De acuerdo al proceso de pilotaje hemos dividido el mismo en cuatro fases bien diferenciadas, sea por los parámetros operacionales utilizados o por el comportamiento observado en los resultados obtenidos. Podemos ver en la Ilustración 3 como se definen de forma clara estas cuatro fases, observándose un comportamiento totalmente análogo en tres de ellas y una que difiere completamente.

Debemos entender a partir de esta observación de comportamiento prácticamente calcado en tres de las diferentes etapas que este es el comportamiento que ese puede esperar del proceso de ultrafiltración del agua de mar en la Planta de Desalación de Las Palmas III.

Los resultados obtenidos trabajando en dos valores de flujo específico, ajustando las operaciones de limpieza periódica (retrolavado y EFM) al mismo, nos ofrecen un funcionamiento del proceso de ultrafiltración análogo, con una acumulación de suciedad en la superficie de las membranas constante que puede ser eliminado de forma eficiente mediante las limpiezas químicas.

Diferente análisis de los datos se aplica al segundo periodo de pruebas en que se ha observado un comportamiento totalmente opuesto, no solo con que el valor de la TMP inicial no incrementa, sino que tiene una tendencia a disminuir. Si observamos con detalle los distintos parámetros presentados en el gráfico, podemos centrarnos en un parámetro que no hemos tenido en cuenta hasta el momento pues no es un parámetro operacional sobre el que podamos actuar, pero sí que tiene una gran influencia en el funcionamiento del proceso de ultrafiltración, el SDI de alimentación.

Los valores del SDI del agua de alimentación de la Planta de Desalación de Las Palmas III presentan una cierta oscilación diaria, pero es generalmente estable en valores alrededor de 5. Podemos observar que entre el 16 de abril y el 13 de mayo hay una variación a la baja de los valores del SDI del agua de alimentación.

Tabla 6. Índice de ensuciamiento

	01/04 – 25 / 04	26/04 – 13/05	14/05 – 29/06
<i>SDI entrada</i>	4,9	4,6	5,0
<i>NTU entrada</i>	2,2	2,0	2,8

Este aparente poco importante descenso en la suciedad del agua, tanto en cuanto hace referencia al valor del SDI como de la turbidez, nos indica que es un factor diferencial que reduce la cantidad de suciedad acumulada en la superficie de la membrana de ultrafiltración facilitando que los retrolavados y EFM sean suficientemente eficientes como para que la TMP no solamente no aumente si no que se reduzca a unos valores algo inferiores en el periodo de tiempo en que esta circunstancia se ha dado.

8. ÍNDICE DE ENSUCIAMIENTO DE MEMBRANA (SDI)

El objetivo principal del proceso de ultrafiltración es disponer de un flujo de agua de mar con una reducción efectiva y eficiente de la suciedad que arrastra durante su captación minimizando así los perjuicios que ésta ocasiona al proceso de ósmosis inversa, mayores costos y menor duración de las membranas.

Esta calidad del agua en términos de suciedad se evalúa mediante el SDI. Se observa durante todo el pilotaje unos valores de SDI del permeado obtenido muy estables, cercanos a 1, y con una muy baja oscilación.

Si comparamos estos valores del SDI en el permeado de la planta piloto con los valores facilitados por Emalsa referentes al agua obtenida por los sistemas de pretratamiento actualmente en funcionamiento vemos una significativa mejora por parte de los obtenidos mediante ultrafiltración.

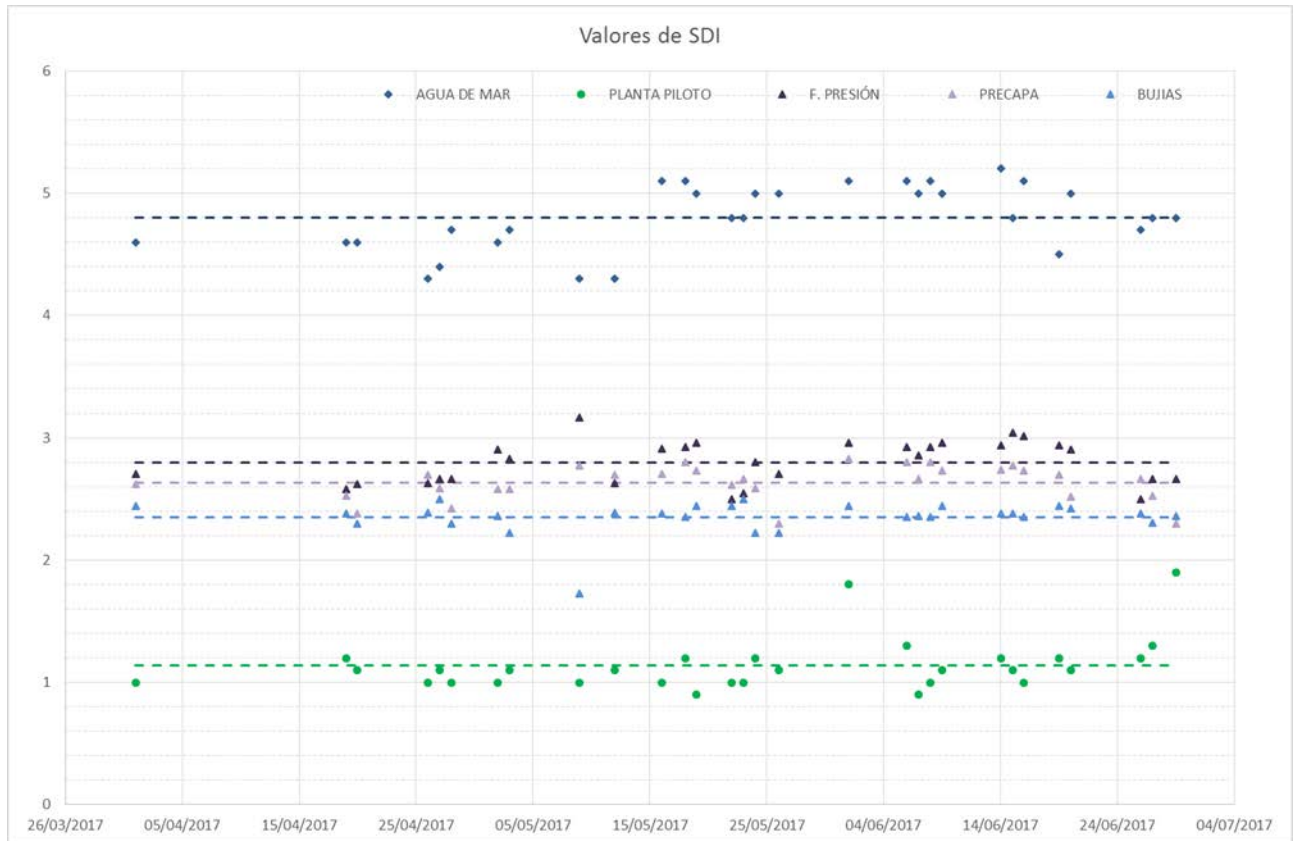


Ilustración 4

Los valores medios correspondientes a los datos disponibles del permeado de la planta piloto comparados con los de los mismos días del agua de mar y de los distintos puntos del pretratamiento de la planta facilitados por Emalsa se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 7. Reducción valores SDI

	AGUA DE MAR	F. PRESIÓN	PRECAPA	BUJÍAS	PLANTA PILOTO
SDI	4,80	2,80	2,64	2,35	1,14
Descenso		35,7 %	45,0 %	51,0 %	76,3 %

Los porcentajes de reducción del valor del SDI, como referencia de la eliminación de suciedad del agua de mar, se indican en la primera línea como reducción respecto a la etapa anterior, mientras que en la segunda línea se corresponden respecto al valor del SDI del agua de mar.

Se observa una capacidad de reducción del SDI por parte de las membranas de ultrafiltración muy superior al sistema actualmente utilizado en la Planta Desaladora de Agua de Mar Las Palmas III.

9.- CONCLUSIONES

A la vista del análisis y evaluación de los datos obtenidos durante todo el proceso de pilotaje se pueden establecer una serie de conclusiones.

- Los filtros de ultrafiltración han estado operando de forma eficiente y eficaz por un período de tres meses sin incidencias en los mismos.
- La planta piloto ha operado de forma correcta durante todo el período, con excepción de alguna incidencia externa, o avería de algún componente de la misma, perfectamente normal teniendo en cuenta que se ponía en marcha por vez primera.
- Las membranas han funcionado en dos regímenes de flujos específicos con frecuencias de limpieza (retrolavado y EFM) ajustadas a cada uno de ellos con un comportamiento totalmente análogo.
- En condiciones de disminución de la suciedad del agua de alimentación, SDI y turbidez ligeramente inferiores a la media, el proceso de ultrafiltración ha mejorado sensiblemente en cuanto a evolución de la TMP y consecuentemente del nivel de ensuciamiento de las membranas.
- Las membranas han respondido correctamente ante las limpiezas químicas y no han mostrado ningún tipo de fatiga durante el periodo de las pruebas.
- La calidad del permeado, tanto en lo que se refiere al SDI como a la turbidez, ha sido constante durante el proceso y superior a las expectativas iniciales.
- El proceso de ultrafiltración se ha mostrado como una alternativa totalmente válida a los filtros de arena como pretratamiento del agua de alimentación de la Planta de Desalación Las Palmas III.