

ESTUDIO DE REPOSICIÓN DE MEMBRANAS DE LA DESALINIZADORA DEL LLOBREGAT

Autores/Authors: Carlos Miguel Centeno (ATLL Concessionària de la Generalitat de Catalunya, S.A, cmiguel@atll.cat)

Resumen:

La planta Desalinizadora del Llobregat tiene una capacidad nominal de 180.000 m³/día, pudiendo alcanzar hasta 200.000 m³/día en caso de necesidad. Esta producción se distribuye entre 10 bastidores de primer paso, dotados de 230 tubos de alta presión con 7 membranas cada uno. Adicionalmente, la planta dispone de 2 bastidores de segundo paso, destinados a garantizar el rechazo de boro en los meses de temperaturas altas.

Cada uno de los bastidores de primer paso dispone, por lo tanto, de 1.610 membranas, siendo el número total de 16.100 unidades en el primer paso y 1.050 unidades en el segundo paso.

El seguimiento de los parámetros normalizados de membranas y del rechazo de boro, llevaron a la necesidad de plantear una reposición parcial de las membranas instaladas originalmente en la planta, con el objetivo de garantizar la calidad del agua producida y reducir los costes de explotación. Para ello se estableció un protocolo de ensayos, con diferentes membranas y configuraciones de reposición, que fue puesto en práctica en situación de funcionamiento real y diferentes condiciones de trabajo, cuyos resultados permitieron determinar la estrategia de reposición de membranas más adecuada a implementar en el conjunto de la planta, con los objetivos antes señalados.

Se presentan en esta ponencia los datos de evolución de los parámetros indicadores del estado de las membranas, el protocolo de ensayos realizados para determinar la estrategia a llevar a cabo, la ejecución de los trabajos de reposición, los resultados obtenidos y la planificación de las futuras actuaciones a llevar a cabo en la gestión de membranas de la instalación.

Abstract:

The Llobregat Desalination Plant has a nominal capacity of 180,000 m³/day, and can reach up to 200,000 m³/day if necessary. This production is distributed among 10 racks of first step, equipped with 230 high pressure vessels with 7 membranes each. Additionally, the plant has 2 racks of second step, intended to guarantee the boron rejection in the months of high temperatures.

Each of the first-stage racks therefore has 1,610 membranes, the total number being 16,100 units in the first step and 1,050 units in the second step.

The monitoring of the standard parameters of membranes and the boron rejection, led to the need to propose a partial replacement of the membranes originally installed in the plant, in order to guarantee the quality of the water produced and reduce operating costs. To this end, a test protocol was established, with different membranes and replenishment configurations, which was put into practice in real operating conditions and different working conditions, whose results allowed us to determine the most appropriate membrane replacement strategy to be implemented in the whole of the plant, with the objectives indicated above.

This paper presents the evolution data of the indicators parameters of the state of the membranes, the protocol of tests carried out to determine the strategy to be carried out, the execution of the replacement works, the results obtained and the planning of the future ones actions to be carried out in the membrane management of the facility.

1 INTRODUCCIÓN

La Desalinizadora del Llobregat dispone de 10 bastidores de ósmosis inversa de primer paso, con 230 cajas de presión cada uno y 7 membranas por caja, lo que supone un total de 1.610 membranas en cada bastidor, con un total de 16.100 membranas instaladas en la planta.

El diseño original del sistema, definido en el proyecto de la planta, sigue una configuración híbrida, con 3 membranas de tipo SWC4+, con alto rechazo de boro, en las primeras posiciones, y 4 membranas SWC5 de alta permeabilidad, en las últimas, todas ellas suministradas por Hydranautics.

Durante el año 2012 se repusieron 2 membranas de tipo SWC4B en cada tubo de presión de los bastidores 3 y 10, con el objetivo de mejorar el rechazo de boro, debido a que los resultados reales eran algo inferiores a los previstos en el proyecto.

Desde la puesta en marcha de la planta se realiza un seguimiento exhaustivo del funcionamiento y estado de las membranas, basado en control de los parámetros normalizados (flujo de permeado, paso de sales y pérdida de carga), y del rechazo de boro.

Fruto de este seguimiento, durante el año 2015 se pudo comprobar un empeoramiento de los parámetros de control del funcionamiento de las membranas, en los 8 bastidores no repuestos en el 2012, motivo por el cual se realizó un estudio para determinar las necesidades de reposición de membranas, ya que el tiempo transcurrido desde el año 2012 y el deterioro observado en el rendimiento de las membranas, hacía necesario una nueva evaluación de la solución a adoptar.

2 ANÁLISIS DE EVOLUCIÓN DE PARÁMETROS DE SEGUIMIENTO

2.1 Seguimiento de parámetros normalizados

El seguimiento del rendimiento de las membranas se realiza, como estándar y de acuerdo con el fabricante, analizando la evolución de tres parámetros básicos, que son la pérdida de carga, el flujo medio de permeado y paso de sales, todos ellos normalizados según norma ASTM D-4516 para poder comparar resultados a lo largo del tiempo, dado que se pueden producir cambios en las condiciones de operación, como cambios de temperatura o de caudal producido, que pueden dar lugar a resultados diferentes en la calidad del permeado y la presión de alimentación. La variación de estos parámetros indica la posible necesidad de realizar limpiezas químicas, en caso de detección de ensuciamiento, o reposición de membranas, en caso de pérdida capacidad o calidad.

En el año 2015 se observó en la evolución de los parámetros normalizados un incremento de pérdida de carga (presión diferencial) muy leve, no mostrando necesidad de efectuar limpiezas químicas, pero en cambio resultaba mucho más evidente el incremento de paso de sales, y en menor medida un incremento de caudal de permeado, lo que suponía una pérdida de rendimiento en rechazo de sales, y en consecuencia un empeoramiento de la calidad del permeado producido.

Este fenómeno no podía deberse a una posible oxidación de las membranas, ya que éstas no habían estado sometidas a la acción de ningún agente oxidante, pues no se había dosificado nunca hipoclorito sódico de forma continua, y las desinfecciones de choque realizadas hasta el momento habían sido pocas y en condiciones de planta parada, o sólo individualmente en filtros fuera de servicio. Para corroborarlo, ensayos de laboratorio realizados no mostraron signos de oxidación en las membranas. Por lo tanto, aun sin tener un conocimiento exacto de la causa del fenómeno, se mostraba evidente la necesidad de acometer una posible reposición de membranas, para recuperar rendimiento en cuanto a calidad del agua producida.

A continuación se muestran las gráficas de evolución parámetros normalizados del bastidor número de 2, en el período 2009-2014.

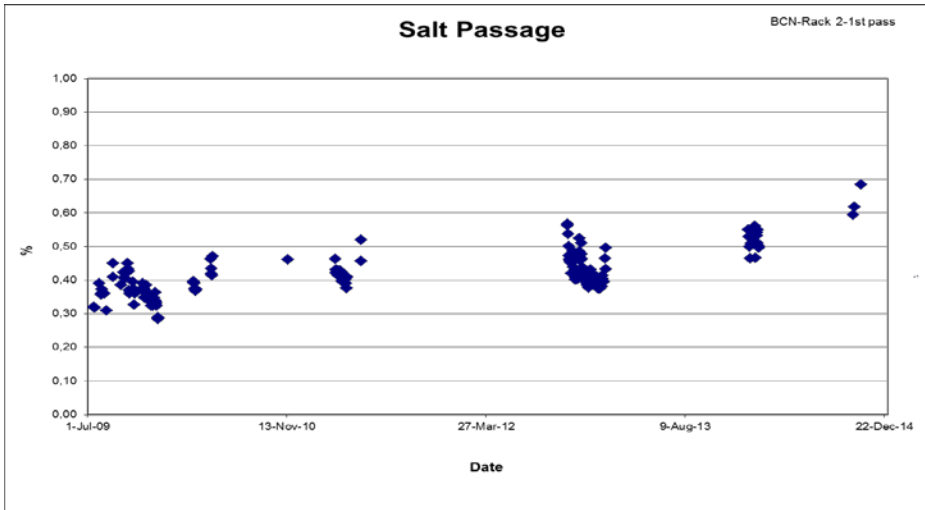


Figura 1: Paso de sales normalizado

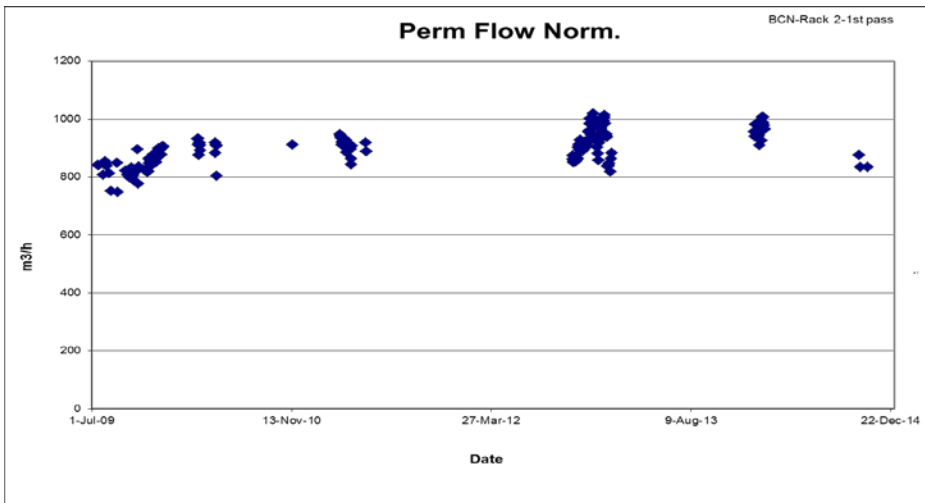


Figura 2: Flujo de permeado normalizado

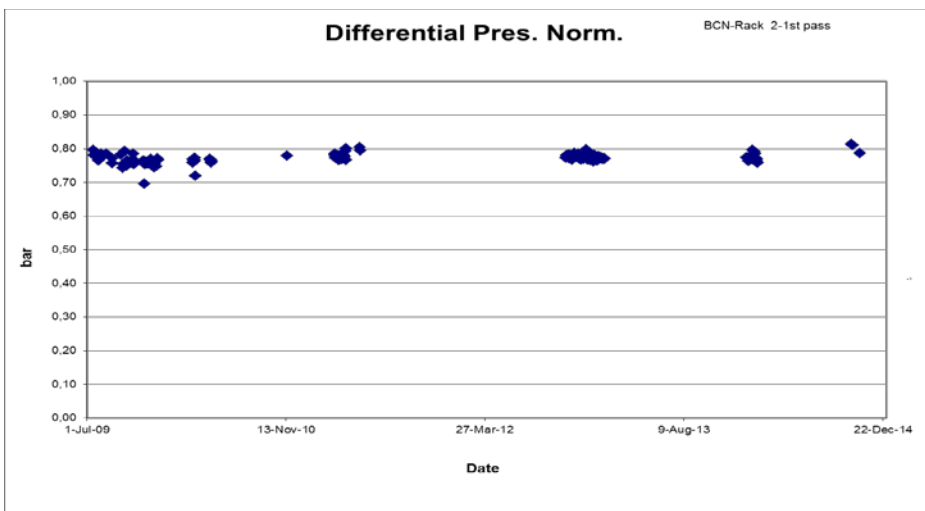


Figura 3: Presión diferencial normalizada

Para el conjunto de los 10 bastidores, el paso de sales se había incrementado, en el período 2009-2014, entre el 28% y el 55%.

2.2 Seguimiento de Boro del permeado

El boro constituye un parámetro esencial de control en la calidad del permeado producido por las membranas, debido al menor rendimiento de rechazo que estas poseen respecto este elemento, en comparación con las sales mayoritarias en el agua de mar, y la concentración máxima admitida por la legislación estatal para aguas de consumo humano, establecida en 1 mg/l. El incremento de temperatura del agua de mar en época estival ocasiona un mayor paso de sales en las membranas, lo cual puede hacer necesario incrementar el pH del agua de alimentación, para favorecer el rechazo de boro, e incluso lleva a la necesidad de poner en funcionamiento un segundo paso de ósmosis inversa, con la finalidad de reducir la concentración de boro en el agua producida hasta valores inferiores a 1 mg/l.

Por este motivo, el seguimiento del rendimiento de rechazo de boro resulta muy importante, para garantizar la calidad del agua producida como objetivo principal, y para optimizar y controlar los costes de explotación del proceso de producción, los cuales se incrementan con la corrección de pH, dosificando hidróxido sódico, y con la puesta en marcha de un segundo paso.

Dado que el rendimiento en rechazo de boro varía con la temperatura, igual que el rechazo de sales, pero también se ve condicionado por el pH del agua de alimentación al bastidor, y por la puesta en marcha o no del segundo paso, el análisis de los resultados obtenidos de concentración de boro en el permeado de cada bastidor se realizó comparando éstos con los teóricos que se obtuvieron mediante el programa de proyecciones de membranas del fabricante, considerando las condiciones de trabajo para cada dato analítico, en cuanto a vida media de las membranas de cada bastidor, pH de alimentación, temperatura y funcionamiento o no del segundo paso.

Con estas consideraciones, se obtuvo la comparación, para cada bastidor, entre los resultados reales de boro en el permeado y los teóricos obtenidos por proyecciones.

Como resultado promedio para el año 2014, la concentración de boro del conjunto de bastidores de la planta resultaba un 38% superior a la esperada por proyecciones. Este empeoramiento en el rechazo de boro tenía como consecuencia una mayor necesidad de proporción de caudal tratado en el segundo paso, con el riesgo de que quedase reducida por lo tanto la capacidad máxima de la planta en la época de temperatura máxima.

A partir de los resultados obtenidos y sus implicaciones, se concluyó la necesidad de desarrollar un estudio para determinar la estrategia más adecuada para reponer membranas en la planta, con el objetivo de garantizar la calidad del agua, sobre todo por lo que respecta al boro, manteniendo la capacidad de producción máxima, y reduciendo los costes de explotación asociados básicamente al consumo de sosa, para corrección de pH, y al funcionamiento del segundo paso.

3 METODOLOGÍA

El desarrollo del estudio para determinar la estrategia de reposición de membranas se realizó partiendo de las dos consideraciones iniciales que se exponen a continuación:

- Los bastidores 3 y 10 ya incorporaban de 2 membranas reemplazadas en cada tubo de presión en el año 2012, por lo que no serían objeto del estudio. Estas 2 membranas eran del tipo SWC4B, con mayor rechazo de boro que la original SWC4+.
- En la planta se disponía de 3.680 membranas nuevas, modelo SWC4B, almacenadas en sus embalajes, suministradas en el marco de la finalización de la garantía de la obra de construcción de la planta.

Las etapas del estudio fueron las siguientes:

1. Selección de un bastidor de prueba, sobre el cual realizar los test y ensayos.

2. Determinación de las diferentes configuraciones de membranas a probar, a partir de los resultados actuales, y teniendo en cuenta la configuración de los bastidores 3 y 10.
3. Selección de los tubos de presión en los cuales se cargarían las diferentes configuraciones de reposición de membranas a probar.
4. Tomar datos completos de funcionamiento del bastidor, antes de la carga de nuevas membranas en los tubos de prueba.
5. Campaña de muestreo y toma de datos, en diferentes condiciones de funcionamiento.
6. Análisis de resultados y conclusiones

Se seleccionó como bastidor de prueba el número 2, dado presentaba bajo rendimiento en rechazo de boro, y la carga de funcionamiento acumulada estaba en la media de la planta, por lo que se podía considerar un bastidor de muestra adecuado.

Se establecieron 6 configuraciones a estudiar, con las siguientes especificaciones:

1. Mantener las membranas originales, para disponer de una referencia de comparación con el resto de tubos de prueba.
2. Configuración igual a la de los bastidores 3 y 10 ya repuestos en 2012, con dos membranas nuevas en las posiciones 1 y 4, con el objeto de comparar esta opción con el resto de alternativas a estudiar.
3. Configuración similar a la anterior, pero con una membrana antigua en la 1ª posición, para evitar el ensuciamiento y mayor deterioro de una membrana nueva en esta posición, que queda en la 2ª posición.
4. Substitución de 3 membranas antiguas, las dos primeras SWC4+ y la última SWC5, instalando la nuevas SWC4B en las posiciones 1, 3 y 5, dejando las 3 últimas con las SWC5.
5. Configuración similar a la anterior, pero substituyendo dos SWC5 de las últimas posiciones, dejando únicamente dos membranas de este tipo. Con esta configuración es de esperar mejor calidad de agua, pero puede comportar un incremento de presión de alimentación demasiado elevado.
6. Similar a la 4ª configuración, pero ubicando en la primera posición una membrana original SWC4+, en lugar de la nueva SWC4B, para evitar el ensuciamiento y deterioro de la membrana nueva.

Para decidir qué tubos de presión serían utilizados para cargar las membranas con las configuraciones de prueba se realizó un mapa de conductividades del bastidor, destinado a comparar los permeados de cada tubo y determinar los más adecuados.

Tabla 1: resultado del mapa de conductividades del bastidor:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A																				
B				551	559	563	547	511	586	531	508	546	510	575	590	548	596	570		
C	508	472	466	527	491	525	519	598	500	581	579	588	551	557	511	505	531	494	485	525
D	739	538	510	528	525	564	641	581	466	475	466	470	480	463	517	486	506	513	481	487
E	476	463	436	468	531	477	427	524	563	512	517	540	557	558	556	586	596	602	576	610
F	450	442	429	461	465	436	433	512	525	441	406	419	433	406	426	437	435	494	469	518
G	476	499	498	504	521	560	567	443	474	423	465	433	449	405	499	556	557	571	599	498
H																				
I				490	577	538	565	510	537	415	420	419	498	494	489	501	426	516		
J	486	501	485	553	553	613	590	498	502	515	493	501	516	599	607	698	605	574	541	569
K	423	447	471	522	538	511	542	470	559	585	552	610	570	673	726	671	866	609	591	539
L	495	529	503	530	505	551	563	522	567	604	601	663	622	650	627	619	606	637	570	529
M	430	489	509	542	471	473	473	587	665	678	598	647	698	676	592	629	678	639	656	612
N	463	486	475	474	480	487	605	515	556	554	501	559	617	547	537	535	567	541	498	514
Control	cond.	pH	temp.	Q perm.	cond. calc.	Alim. P	Rech. P	dP	Alim. C	Q rech.										
Unidades	µS/cm		°C	m3/h	µS/cm	bars	bars	bars	mS/cm	m3/h										
Datos bastidor	567	8,67	21,4	832		60,16	59,03	0,84	58,80	1018										
Comprobación					532															

Se seleccionaron los tubos N8, N9, N14, N15 y N16 por presentar una conductividad muy cercana al promedio del bastidor, a la vez que estaban situados en la fila inferior, lo cual facilitaba de manera importante los trabajos de sustitución y muestreo.

Tabla 2: Reposiciones implementadas en cada tubo de prueba:

Tubo	Descripción	Posición membrana	Posición membrana							
			1	2	3	4	5	6	7	
N8	Sin cambios Tubo de referencia	1	Original	SWC4+	SWC4+	SWC4+	SWC5	SWC5	SWC5	SWC5
			Test	SWC4+	SWC4+	SWC4+	SWC5	SWC5	SWC5	SWC5
N9	Cambio 2012 racks 3 y 10	2	Original	SWC4+	SWC4+	SWC4+	SWC5	SWC5	SWC5	SWC5
			Test	SWC4B	SWC4+	SWC4+	SWC4B	SWC5	SWC5	SWC5
N14	2 membranas nuevas	3	Original	SWC4+	SWC4+	SWC4+	SWC5	SWC5	SWC5	SWC5
			Test	SWC4+	SWC4B	SWC4+	SWC4B	SWC5	SWC5	SWC5
N15	3 membranas nuevas	4	Original	SWC4+	SWC4+	SWC4+	SWC5	SWC5	SWC5	SWC5
			Test	SWC4B	SWC4+	SWC4B	SWC4B	SWC5	SWC5	SWC5
N16	3 membranas nuevas	5	Original	SWC4+	SWC4+	SWC4+	SWC5	SWC5	SWC5	SWC5
			Test	SWC4B	SWC4+	SWC4B	SWC4B	SWC4+	SWC5	SWC5
N18	3 membranas nuevas	6	Original	SWC4+	SWC4+	SWC4+	SWC5	SWC5	SWC5	SWC5
			Test	SWC4+	SWC4B	SWC4B	SWC4B	SWC5	SWC5	SWC5

A finales de julio de 2015 se instalaron las membranas en los tubos de prueba, así como las conexiones y válvulas en la salida de permeado de cada tubo para permitir realizar muestreos internos de permeado de cada posición.

La instalación disponible permitía hacer trabajar todos los tubos con las mismas condiciones de calidad de agua de alimentación, pH, temperatura, presión de alimentación, contrapresión de permeado y pérdida de

carga. El único parámetro que no se podía controlar para cada tubo de prueba era el caudal de permeado producido, y relacionado con éste, el factor de conversión de cada tubo. Este hecho, dado que los bastidores se controlan de forma automática para trabajar a producción y conversión fijas, se traduce en que podían existir ligeras diferencias de presión de alimentación para cada configuración, para una misma producción de permeado. Esta pequeña incertidumbre debía comportar en una ligera prudencia ante configuraciones que pudieran requerir mayor presión de alimentación.

4 RESULTADOS DE LOS TEST REALIZADOS

El período de testeo de las configuraciones a probar se desarrolló entre el 8 de agosto y el 4 de octubre de 2015, época que coincide con las temperaturas más elevadas, y por lo tanto resulta la más adecuada para valorar el rendimiento en rechazo de boro. Durante este período se pudieron obtener datos en diferentes condiciones de trabajo, incluyendo diferentes temperaturas, pH de alimentación y funcionamiento o no con el segundo paso. En caso de funcionamiento con segundo paso, no se exponen los resultados de boro de salida de permeado de éste último, dado que su evaluación no se considera en este estudio.

En este período se tomaron datos de operación de los bastidores, así como de calidad del permeado, básicamente en cuanto a boro y conductividad. Así mismo se realizaron muestreos internos del tubo de permeado, para obtener el perfil de conductividades y boro de cada posición, con el objeto de evaluar el rendimiento de cada membrana en la posición establecida en cada tubo.

4.1 Resultados de Boro y Conductividad

A continuación se muestran de forma gráfica los resultados obtenidos de Boro y Conductividad, medidos a la salida de cada tubo de prueba. Se muestra también la temperatura en cada fecha de muestreo, para evaluar su influencia en los resultados analíticos.

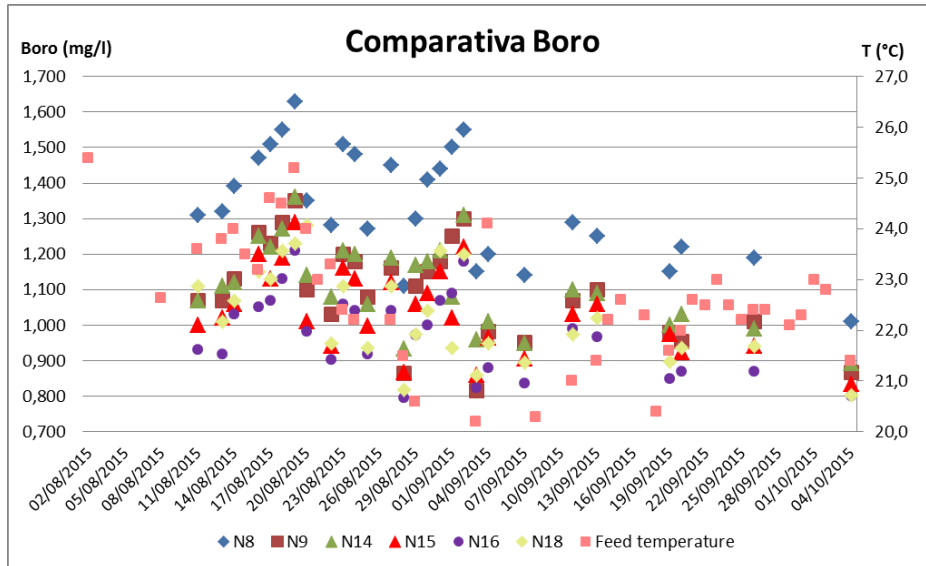


Figura 4: Gráfica comparativa de resultados de boro

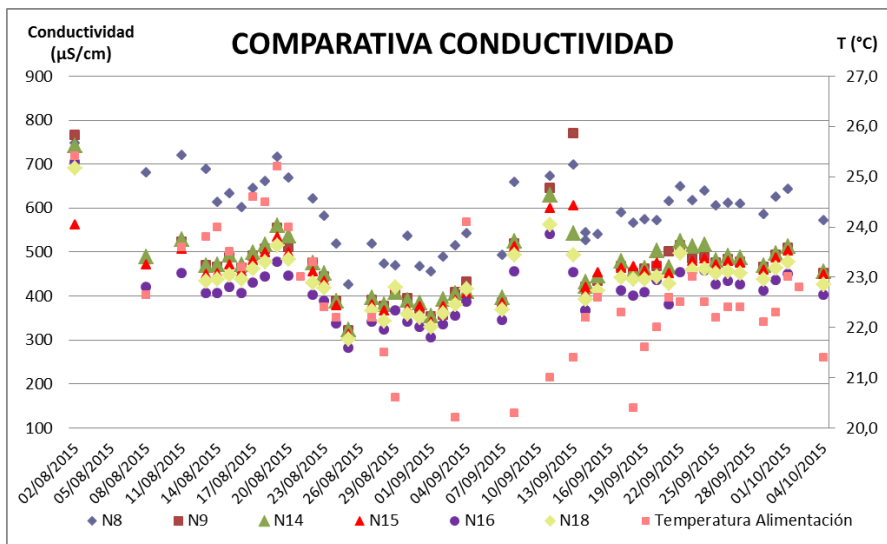


Figura 5: Gráfica comparativa de resultados de conductividad

De los resultados obtenidos se observan los siguientes aspectos:

- Los tubos N9 y N14, que contemplan la sustitución de 2 membranas, presentan resultados similares, ligeramente mejores en el caso del N9 (correspondiente a la actual configuración de los racks 3 y 10).
- Los tubos N15, N16 y N18 contemplan la instalación de 3 membranas nuevas, por lo que los resultados son siempre mejores que los de los N9 y N14.
- El tubo N16 es el que presenta mejor calidad de permeado, en cuanto a boro, siendo el resultado entre el N15 y el N18 muy similar, ligeramente mejor en el caso del N18.

4.2 Perfiles de boro y conductividad

Durante el período de ensayos se realizaron diversos muestreos de permeado en el interior de los tubos, para obtener los perfiles de conductividad y boro a lo largo de las diferentes posiciones de las membranas, con el objeto de comprobar el rendimiento de cada tipo en su posición, y su aportación al conjunto.

A continuación se muestran las gráficas de los perfiles obtenidos en dos días diferentes para los tubos N16 y N18, por ser los dos con mejores resultados para su implementación final.

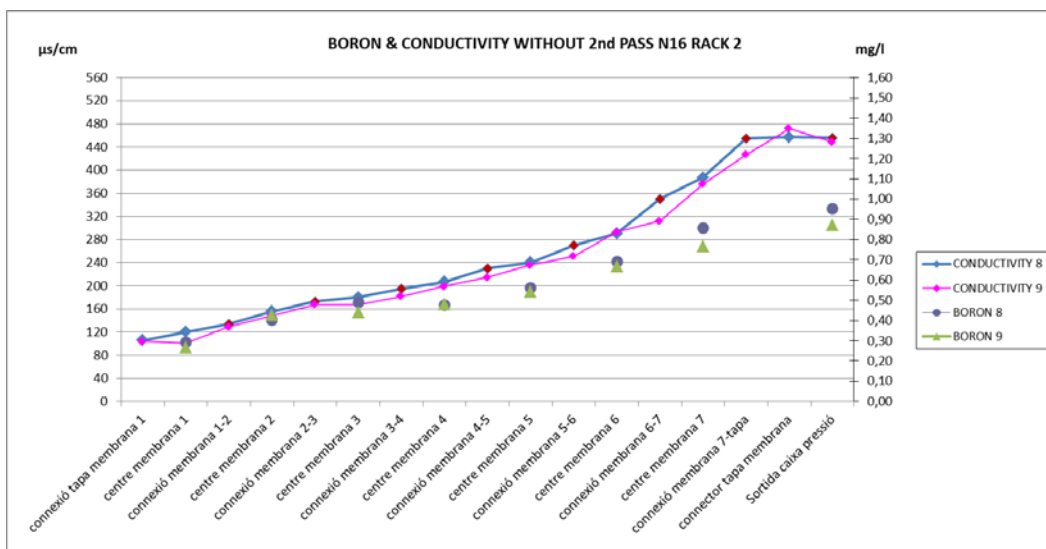


Figura 6. Perfiles de conductividad y boro del tubo N16

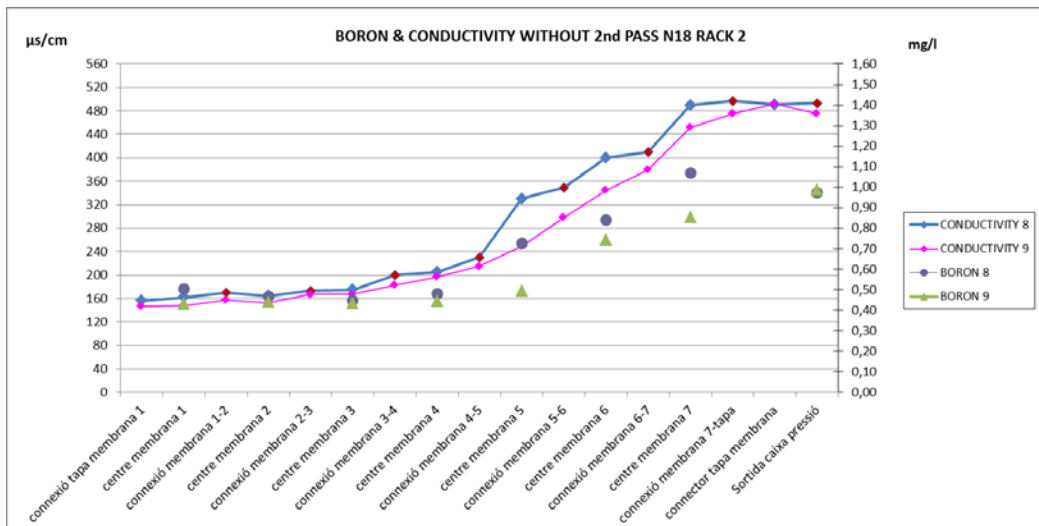


Figura 7. Perfiles de conductivitat i boro del tub N18

En los perfiles se observa una ligeramente mejor calidad del permeado para la caja N16, como ya se mostraban en las figuras 4 y 5, lo cual resultaba esperable, dado que incorpora mayor cantidad de membranas de tipo SWC4, con mejor rechazo de sales, y menor cantidad de membranas de tipo SWC5, de alta permeabilidad.

5 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS Y SELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN ADOPTADA

El análisis de resultados se realizó considerando las condiciones de diseño de la instalación. La evaluación comparativa con las proyecciones de membranas se realizó adoptando la máxima edad de membranas establecida en proyecto, de 3,7 años. A continuación se muestran resultados puntuales de boro, comparados entre las condiciones de proyecto y las diferentes configuraciones probadas:

5.1 Condiciones de funcionamiento con primer paso.

- Temperatura máxima de diseño con 1^{er} paso: 23°C
- pH máximo de alimentación a 1^{er} paso: 8,60

Proyecto			Test (día 26/09/2015). Boro							
T (°C)	pH	Boro	T (°C)	pH	N8	N9	N14	N15	N16	N18
23°C	8,6	0,742	22,4°C	8,56	1,19	1,01	0,99	0,94	0,87	0,94

Se puede apreciar que las cajas con dos membranas nuevas, N9 y N14, quedaban lejos de las condiciones de diseño. De las cajas con 3 membranas nuevas, la N16 presentaba mejores resultados, cercanos pero no iguales a los de diseño.

5.2 Condiciones de funcionamiento con 2º paso a temperatura máxima.

- Temperatura máxima de diseño con 2º paso: 27°C
- pH de alimentación a 1^{er} paso: 8,10

Proyecto			Test (día 19/08/2015). Boro							
T (°C)	pH	Boro	T (°C)	pH	N8	N9	N14	N15	N16	N18
27°C	8,1	1,3	25,2°C	8,01	1,63	1,35	1,36	1,29	1,21	1,23

En este caso, se puede comprobar que las cajas con 3 membranas substituidas presentan resultados mejores a los de proyecto. En este sentido, hay que tener presente el efecto de la edad real de las membranas, en conjunto inferior a 3,7.

5.3 Análisis de resultados de Boro

A partir de los resultados obtenidos en cuanto a rechazo de boro, se puede apreciar que las dos configuraciones con 2 membranas nuevas (N9 y N14), no llegan a los valores esperados en el diseño, aun teniendo presente las posibles diferencias debidas a la edad de membranas. En el caso de las cajas con 3 membranas nuevas, aunque no llegan al resultado de proyecto con 1^{er} paso y 23°C, la concentración de boro en el permeado se mantiene inferior a 1 mg / l.

En el caso de funcionamiento con 2º paso, no se ha alcanzado la temperatura máxima de 27°C (por otra parte, en operación normal tampoco se ha llegado a alcanzar en muchas ocasiones). En estas condiciones, tanto a 23°C como 27°C los tubos de prueba con 3 membranas nuevas dan resultados iguales o mejores que los proyectados, pero con el condicionante diferencial de la edad de las membranas. En el caso de los tubos con 2 membranas nuevas, los resultados se acercan más a los esperados según proyecciones.

En resumen, en cuanto a resultados de boro de permeado se muestra favorable contemplar la substitución de 3 membranas para cada tubo de presión, y en este caso es necesario analizar para cada configuración las consideraciones específicas necesarias:

- El tubo N15 prevé instalar una membrana nueva en la 1ª posición, lo que puede llevar a ensuciar y deteriorar en mayor grado una membrana nueva, aspecto poco favorable de cara a futuras reposiciones.
- El tubo N16 contempla 5 membranas de tipo SWC4 y 2 de tipo SWC5, configuración que aporta mayor calidad de permeado, pero a la vez mayor requerimiento de presión de alimentación, aspecto que se ha podido simular parcialmente con el programa de proyecciones de membranas. Aunque las presiones reales de trabajo de los bastidores son inferiores a las proyectadas, se ha podido comprobar en el caso del rack 3 un incremento de hasta 2 bar respecto al resto de bastidores. Esto, unido a la mayor pérdida de carga real respecto la teórica de la válvula de control de la bomba de alta presión, hacen reducir el margen disponible para envejecimiento y ensuciamiento de membranas, por lo que esta configuración sería necesario analizarla muy en detalle en cuanto a las presiones necesarias.
- El tubo N18 presenta la ventaja respecto al N15 de poner una membrana original en la 1ª posición, además de una menor concentración de boro. La calidad de agua es ligeramente inferior al N16, pero se mantiene dentro de los requerimientos de la planta.

En base a estas consideraciones, se adoptó la decisión de planificar una reposición de membranas siguiendo la configuración del tubo N18, con lo cual se mostraba necesario disponer de 3 membranas nuevas tipo SWC4B para cada tubo de presión de los bastidores que mantenían las membranas originales.

6 GESTIÓN DE REPOSICIÓN DE MEMBRANAS REALIZADA

Una vez determinada la solución a adoptar para la reposición de membranas, a principios de 2016 se planificaron los trabajos de ejecución de dicha reposición.

La substitución de 3 membranas en cada tubo de presión comportaba la necesidad de disponer de 690 membranas nuevas para cada bastidor. Tal y como se menciona en el apartado 3 de este estudio, en la planta se disponía de 3.680 membranas nuevas tipo SWC4B. Con estas membranas se podían reponer 5 bastidores, y con el excedente sumado otras 460 unidades adicionales que se adquirieron posteriormente a la finalización del estudio, en el mismo año 2016, se completó la disponibilidad de elementos para reponer 6 bastidores de primer paso.

Los trabajos de reposición de membranas de los mencionados 6 bastidores se realizaron entre mayo y octubre de 2016. Una vez repuesto el primer bastidor, se puso en marcha y se analizaron los datos

obtenidos, tanto de los parámetros operativos como de los resultados de calidad del permeado producido. Estos datos mostraron resultados similares a los obtenidos en las pruebas descritas, realizadas en 2015, por lo que se continuó con los trabajos de reposición de los restantes 5 bastidores, obteniéndose en sus respectivos casos resultados similares al primero, en concordancia con los ensayos previos.

El factor relevante que no se pudo comprobar en las pruebas previas fue, como se mencionó anteriormente, la posible diferencia de presión de alimentación con la nueva configuración, o el equivalente descenso de producción para una misma presión de alimentación, en fase de pruebas. En fase de operación real, ya con las nuevas membranas cargadas, se pudo comprobar que el incremento de presión de los bastidores era inferior a 2 bar, asumible para la instalación, y dejando el correspondiente margen para ensuciamientos y envejecimiento de membranas.

7 SITUACIÓN ACTUAL Y PREVISIÓN DE FUTURO

Durante el año 2017 se realizó un seguimiento del funcionamiento de las membranas de la planta, que puso de manifiesto la necesidad de reponer los 2 bastidores de primer paso que quedan pendiente, todavía con membranas originales de 2009. Para poder llevar a cabo estas reposiciones se gestionó la compra de membranas necesarias, con el objetivo de realizar los trabajos de reposición durante el año 2018.

Por otro lado, y ante la perspectiva de futuras necesidades de reposición, básicamente encaminadas a la mejora de la calidad del agua y la reducción de costes de producción, está previsto realizar durante el año 2018 nuevos ensayos similares a los descritos en esta ponencia, incorporando nuevos modelos de membranas, tanto del mismo fabricante que las existentes como de otros proveedores, que permitan establecer la estrategia de reposiciones a seguir en los próximos años, comenzando a más corto plazo presumiblemente con los bastidores número 3 y 10, los cuales disponen de membranas del año 2009 y 2012.

En estos próximos ensayos se contempla disponer de control de caudal de permeado en cada tubo de membranas en prueba, de cara a obtener mayor información, sobre todo ante la posibilidad de probar membranas con posibles mayores diferencias en sus parámetros de funcionamiento.

8 CONCLUSIONES

La reposición de membranas en una planta desalinizadora constituye una actuación de la máxima importancia, dado que afecta al elemento más determinante en el proceso de obtención de agua potable a partir de agua de mar, y de su funcionamiento dependerá la calidad del agua producto, la capacidad de producción y en parte los costes de explotación.

Por este motivo, la decisión respecto cuales son las membranas más adecuadas y que tipo de reposición efectuar, tanto por el número de membranas a reponer como por sus posiciones respectivas, debe tomarse disponiendo de datos reales de las diferentes configuraciones que previamente se hayan seleccionado, conforme a las alternativas de membranas existentes en el mercado en cada momento.

La adquisición de nuevas membranas, así como la ejecución de los trabajos de reposición, suponen una inversión económica importante, por lo que no se debe poner en riesgo la toma de una decisión de esta envergadura sin disponer de la máxima información y conocimiento, que permitan garantizar el resultado final de la actuación.