

Evaluación De Diferentes Estrategias Para La Optimización De La Operación En Sistemas De Ósmosis Inversa Con Altas Concentraciones de Sílice (SiO₂) En La Planta Desaladora De Arica (Chile).

Gallego, Silvia. Genesys Membrane Products S.L
Ordóñez, Antonio. OHL Medio Ambiente INIMA S.A.
Shang, Juan Francisco. Genesys Membrane Products S.L
Valdivia, David. OHL Medio Ambiente INIMA S.A.
Del Vigo, Fernando. Genesys Membrane Products S.L

Sesión: Desalación

RESUMEN

Debido a la escasez de agua de buena calidad en muchas regiones del planeta, las instalaciones de ósmosis inversa (OI) están viéndose obligadas a operar con concentraciones de sílice muy elevadas. La química de la sílice es muy compleja y puede encontrarse en la superficie de las membranas bien en forma cristalina o polimérica, a la vez que puede llegar formada a estos sistemas en forma coloidal.

Con el fin de evitar los procesos de ensuciamiento asociados a altas concentraciones de sílice, los sistemas de OI se han diseñado y explotado manteniendo tasas de conversión bajas ya que los inhibidores de incrustación convencionales no eran efectivos en la prevención de los depósitos silíceos. El desarrollo de inhibidores de incrustación específicos, mejoras en el pretratamiento de las instalaciones y la optimización de las prácticas de limpieza han sido consideradas en estas aplicaciones como las principales estrategias a adoptar.

La planta desaladora de Arica (Chile), con una capacidad de 750 m³/h, fue construida por INIMA y comenzó su operación en el año 1998. Este artículo evalúa la eficiencia de las diferentes estrategias adoptadas mediante la revisión de los datos de operación del periodo 1998-2009 y la reducción de costes asociada. La planta lleva funcionando de forma satisfactoria durante más de 12 meses con valores punta de sílice en el agua de aporte superiores a 75 mg/L (concentraciones en rechazo superiores a 300 mg/L) y la frecuencia de limpiezas se ha visto reducida de 12 a 1 limpiezas anuales en segunda etapa.

PALABRAS CLAVE

Desalación, membranas, ósmosis, sílice.

INTRODUCCIÓN

Arica (Chile) se encuentra geográficamente ubicada como punto de convergencia entre los países que componen la Macroregión Andina, lo que la convierte en una zona estratégica para satisfacer las necesidades logísticas del Asia Pacífico, entre muchos otros mercados que requieren de servicios portuarios, de transporte y de almacenaje. Su condición fronteriza, limita al norte con Perú y al este con Bolivia, ha favorecido el desarrollo del comercio y el turismo. Según datos del Instituto Nacional de Estadística Chileno su población en 2002 superaba los 175.000 habitantes. Las condiciones climáticas (clima desértico costero) y las características del suelo determinan una precaria disponibilidad hídrica, que ha obligado a la construcción de infraestructuras hidráulicas para garantizar el abastecimiento de agua en cantidad y calidad suficiente.

La planta desaladora de Arica, diseñada y construida por OHL Medio Ambiente INIMA S.A., fue puesta en funcionamiento en abril de 1998, contando con una capacidad máxima de producción de 18.000 m³/día. La explotación se ha llevado a cabo por la empresa Desalari Ltda. desde su puesta en marcha. La planta se abastece de 11 pozos ubicados en el Valle de Lluta, con profundidades medias en torno a los 130 metros y que presentan en la mayoría de los casos altos niveles de cloruros (valor medio superior a 800 mg/L) y de sólidos disueltos (valor medio superior a 3.000 mg/L) que hacen necesario su tratamiento de desalación, habiéndose seleccionado para ello la tecnología de ósmosis inversa. La calidad del agua que llega a la planta de tratamiento es variable, dependiendo del régimen de funcionamiento de los diferentes sondeos, ya que presentan calidades de aguas muy heterogéneas.

DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Las aguas de los diferentes sondeos son trasladadas a la planta de tratamiento a través de un colector de 11 Km. El pretratamiento de diseño de esta instalación está compuesto por filtración de arena seguida por filtración de seguridad. Desde un depósito de acumulación de 2.000 m³ de capacidad se alimentan 4+1 filtros de arena. La línea de tratamiento cuenta además con 4+1 carcassas de filtración con un total de 175 cartuchos de filtración instalados de 40" de longitud y 5 micras nominales. Antes de los filtros de arena está prevista la dosificación de hipoclorito sódico, ácido y coagulante, y posteriormente a la filtración la de bisulfito sódico y antiincrustante, todas fuera de uso actualmente a excepción de la antiincrustante.



Figura 1 Vista general de la planta

El sistema de ósmosis inversa consta de 4 racks en 2 etapas. La primera etapa consta 24 cajas de presión, con un total de 144 membranas (Hydranautics CPA3). El número de cajas de presión en segunda etapa es de 12, lo que supone un total de 72 elementos de membrana (Hydranautics ESPA2). La capacidad total de diseño de la instalación es de 750 m³/h, con una tasa de conversión del 75%. La instalación cuenta con una turbina pelton para recuperar la energía del agua de rechazo. El agua tratada (osmotizada) es aireada para favorecer la eliminación de CO₂ y posteriormente se mezcla con otras fuentes de agua en el estanque de Chuño y la ETAP Estadio, para garantizar los valores reglamentarios en el suministro.

PROBLEMÁTICA DE LA INSTALACIÓN Y ESTRATEGIAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN

Problemática De La Instalación y Diagnósis De La Situación De Planta.

La revisión de los diferentes análisis de control realizados antes y durante la puesta en marcha de la planta pone de manifiesto que los principales riesgos asociados a la calidad del agua en esta instalación están relacionados con altas concentraciones de sílice y un contenido variable y habitualmente elevado de metales (hierro y manganeso), así como una importante variabilidad en el contenido de sólidos en suspensión y materia coloidal.

Tabla1 Caracterización físico-química del agua de aporte a la instalación (agua mezcla). Valores medios mensuales para el periodo 2006-2009.

	2006				2007				2008				2009	
	Ene	Abr	Jul	Oct	Ene	Abr	Jul	Oct	Ene	Abr	Jul	Oct	Ene	Abr
Turbiedad (UNF)	7	3	1,0	5	0,34	0,38	0,49	0,53	0,55	3,95	4,04	4,45	3,25	3,06
Conductividad (µS/cm)	4529	4500	4697	4517	4590	4570	4610	4540	4570	4510	4400	4450	4430	4410
Cloruros (mg/L)	913	927	969	920	925	918	920	906	921	877	867	860	874	863
Dureza (mg/L)	-	-	-	1301	1242	1266	1268	1200	1205	1178	1155	1152	1144	1053
Bicarbonatos (mg/L)	-	-	-	-	110	111	112	122	124	121	125	125	116	110
Calcio (mg/L)	323	332	329	323	318	334	327	316	324	312	306	308	304	299
Magnesio (mg/L)	-	-	106	102	94	104	99	98	97	93	93	92	91	80
Bario (mg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sílice (mg/L)	57,5	57,1	59,5	56,0	56,1	54,4	57,4	55,0	56,4	57,9	57,1	57,6	56,2	56,4
Sulfatos (mg/L)	1037	1061	1180	1058	1085	1044	1044	1034	1019	1010	1020	1028	1042	1040
Manganeso (mg/L)	-	-	0,90	0,69	0,65	0,65	0,65	0,28	0,85	0,99	0,98	1,03	1,12	1,04
Hierro (mg/L)	-	-	0,05	0,15	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,09	0,12	0,13	0,14	0,20
Estroncio (mg/L)	-	-	2,29	2,15	2,19	2,29	2,29	2,21	2,25	2,19	2,12	2,15	2,12	2,07

Tabla 2 Caracterización físico-química de la calidad del agua de alimentación a la instalación (agua mezcla) y de alguno de los pozos en funcionamiento. Parámetros críticos. Muestreo puntual en julio de 2005.

	Pozo 3	Pozo 10	Pozo 23	Pozo 16	Pozo 18A	Alimentación (mezcla)
Turbiedad (UNF)	1,02	5,5	35	0,61	1,76	0,75
pH (u.pH)	7,05	7,08	6,80	6,76	6,89	7,39
Conductividad (µS/cm)	4050	5340	4220	4420	4840	4710
TDS (mg/L)	2909	3722	2779	2967	3290	3325
Hierro total (mg/L)	0,08	1,26	2,75	0,19	0,49	0,08
Hierro dis. (mg/L)	0	0,09	0,14	0,04	0,01	0,03
Manganeso total (mg/L)	0,12	1,81	1,41	0,28	3,16	0,09
Manganeso dis. (mg/L)	0,10	1,81	1,41	0,28	1,55	0,05
Sílice (mg/L)	56,7	60,2	62,7	61,3	59,0	74,4

En la Tabla 1 se recogen datos de la calidad físico-química del agua bruta (agua mezcla) en diferentes muestreos realizados durante el periodo de 2006-2009 (valores medios mensuales). La causa de esta heterogeneidad está asociada al empleo de un elevado número de pozos con aguas de características muy diferentes entre sí y un régimen de explotación irregular de cada uno de ellos en función de la disponibilidad de agua y las necesidades de producción. En la Tabla 2 se resumen los resultados obtenidos en la caracterización del agua de alimentación (mezcla) y de algunos de los pozos en funcionamiento durante una campaña de muestreo realizada en julio de 2005 para los parámetros establecidos como críticos.

A pesar de la variabilidad observada en la turbiedad del agua de alimentación, los valores obtenidos para la medida del Índice de Ensuciamiento SDI_{15} (“Silt Density Index”) en el agua bruta y agua de alimentación a membranas (pretratada) son siempre inferiores a 3 (Ver Figura 2). La revisión del histórico de datos de la planta indica valores medios de SDI en el agua bruta de 2.91 y de 1.05 en la salida de los filtros de seguridad para un periodo de 6 años (septiembre de 2003-septiembre 2009).

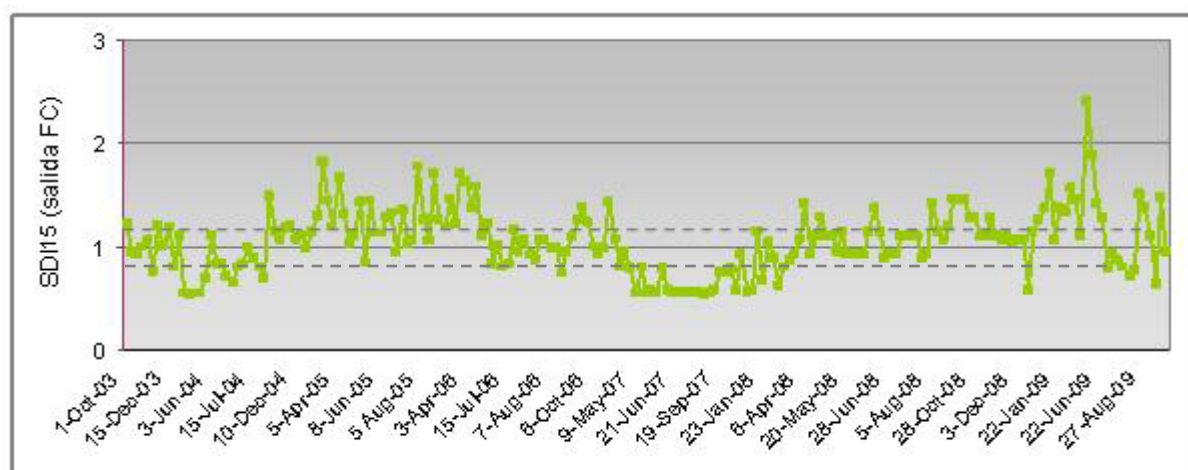


Figura 2 Valores obtenidos para el Índice de Ensuciamiento SDI_{15} en el agua de alimentación a membranas (salida filtros de seguridad) en el periodo septiembre 2003-septiembre 2009.

Además la concentración de sílice en el agua de alimentación se ha visto incrementada desde el comienzo de la explotación por la puesta en servicio de nuevos sondeos para garantizar la producción contratada. En la Figura 3 se resumen los valores medios mensuales para la concentración de sílice en el periodo 1998-2008, si bien, en la revisión de los datos de control se observan puntas en las concentraciones de este parámetro por encima de 75 mg/L (Ver Tabla 2, datos de un muestro puntual en julio de 2005). Diferentes estudios indican que la solubilidad de la sílice es de 120-150 mg/l a 25°C y $pH < 8$ ^[1], un valor muy inferior a la concentración de diseño de sílice en el rechazo (196 mg/L). La presencia de hierro en el agua favorece la formación de silicatos de hierro mientras que la relación magnesio/calcio, presencia de manganeso, bario o aluminio son factores que se relacionan con la catálisis de la reacción de polimerización de la sílice^[2]^[3]. La recomendación habitual en estos sistemas ha sido operar con concentraciones máximas de sílice en el concentrado de 120-150 mg/L dependiendo del pH y temperatura^[4], aunque existen plantas operando con concentraciones de sílice en rechazo superiores a 180 mg/L en determinadas condiciones de operación^[5].

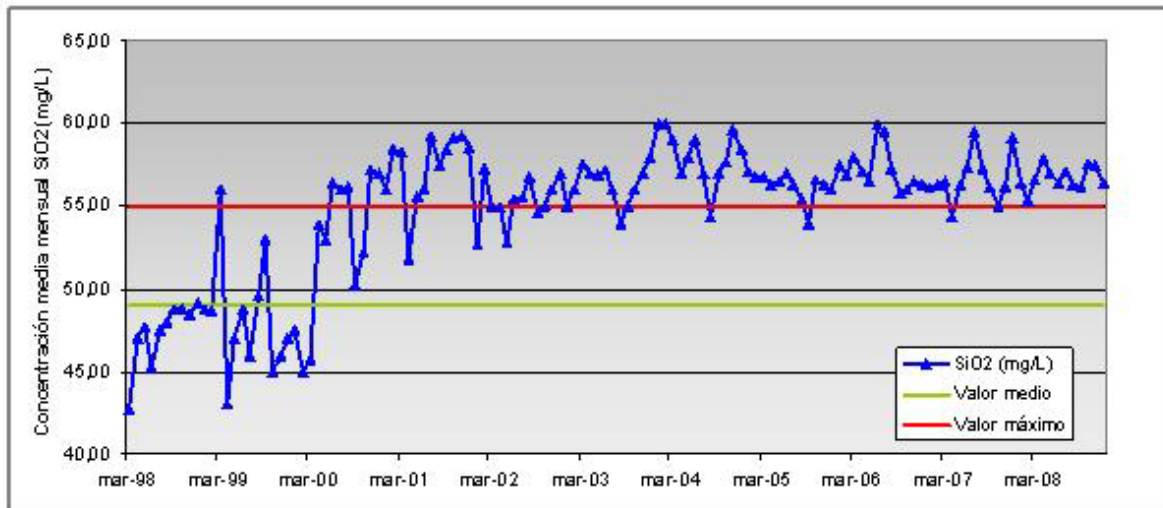


Figura 3 Concentración media mensual de sílice (mg/L SiO₂) en el agua de alimentación en el periodo 1998-2008. Comparativa con los valores contractuales medio y máximo.

Durante el periodo 1998-2008 la planta opera de forma regular, si bien los problemas de ensuciamiento asociado a sílice eran superiores a los anticipados. El ensuciamiento por sílice ha sido descrito en diferentes trabajos como uno de los principales problemas no resueltos en las instalaciones de ósmosis inversa, siendo su principal consecuencia directa un aumento de los costes energéticos [2]. A esto hay que añadir los costes de mantenimiento relacionados con una mayor frecuencia de limpieza, básicamente equipos y productos químicos, así cómo los asociados a pérdidas de producción en las paradas.

La revisión de los datos normalizados de operación registrados en el periodo 2005-2008 indican disminuciones drásticas en los flujos de producción y aumentos en las presiones de operación, especialmente en los bastidores de 2ª etapa. Estos se traducen en frecuentes limpiezas químicas en las dos etapas de esta planta.

En la Figura 4 se muestran los datos normalizados para el caudal de producción y paso de sales para el bastidor nº1, segunda etapa, el año 2006. Se han indicado sobre la gráfica, de forma esquemática (flechas rojas), las fechas de limpieza química, un total del 10 para el periodo estudiado. Además de la elevada frecuencia de limpieza se observa que en ocasiones los protocolos y productos empleados no resultan efectivos al no alcanzarse aumentos de flujo significativos.

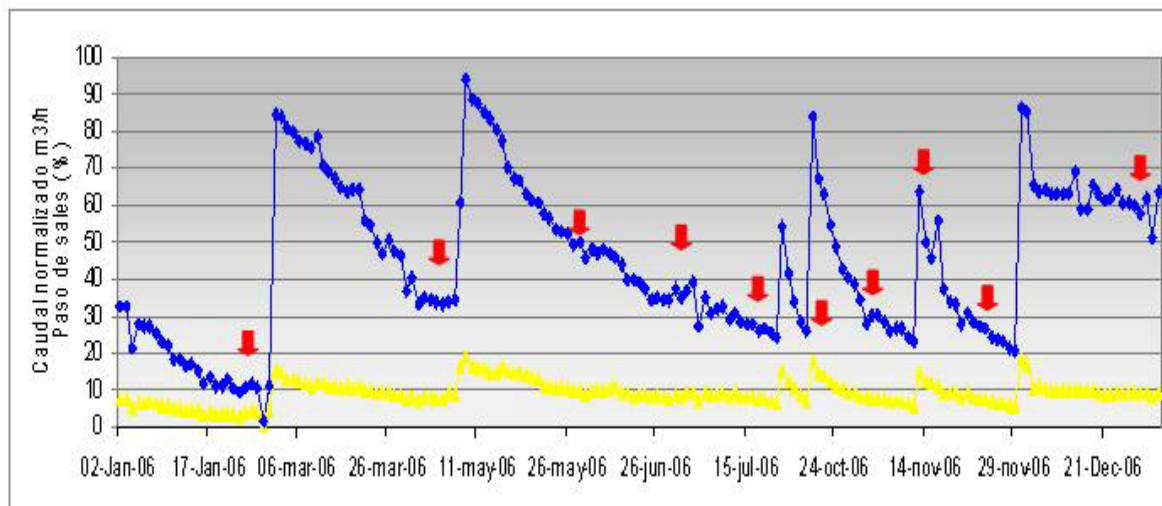


Figura 4 Flujo de permeado normalizado (m^3/h) para el bastidor nº1, 2ª etapa. Detalle de la frecuencia de limpiezas químicas.

Con el fin de caracterizar de forma más exacta el estado de las membranas y los problemas de ensuciamiento detectados a partir de los datos de operación, a finales de 2005 se realiza la autopsia de cuatro elementos de membrana procedentes de esta planta en los laboratorios de Genesys Membrane Products en Madrid (España). En concreto se seleccionan la primera y última posición de primera y segunda etapa, de una misma línea de producción. Los resultados más relevantes en cuanto a los problemas de ensuciamiento de sílice se resumen a continuación:

- Se detecta la presencia de depósitos de sílice en todas las membranas estudiadas. Las membranas en segunda etapa presentan depósitos de sílice cubriendo la práctica totalidad de su superficie. En las membranas procedentes de primera etapa, los depósitos son puntuales y se concentran en las zonas de apoyo del material espaciador sobre la superficie de la membrana (zonas de menor velocidad). El estudio de discos de SDI y la superficie de filtros de seguridad retirados de la instalación mediante microscopía electrónica acoplado a detector de energía dispersiva de Rayos X (SEM-EDX) también muestra presencia de sílice en los depósitos retenidos. Este hecho confirma que, además de darse procesos precipitación en la superficie de la membrana, existen aportes de sílice coloidal.



Figura 5 Microfotografía SEM. Superficie de un disco SDI tras filtrar 100 ml de agua pretratada (salida filtros de seguridad).

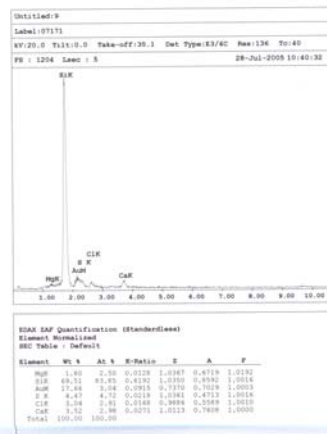


Figura 6 Espectro EDX. Superficie membrana SDI mostrada en Figura 5.

- En las membranas de primera etapa se detecta presencia significativa de hierro en la superficie de la membrana, además de aluminosilicatos. En las membranas de segunda etapa no se identifican otros compuestos.
- Los valores de retención de sales están en todos los casos por debajo del 96%. Los valores de caudal de las membranas caracterizadas están en todos los casos por debajo del 25% del valor de diseño (<34 L/m²h), llegando en un caso (elemento procedente de segunda etapa) a no superar los 10L/m²h.

Estos datos, junto con estudios completos de caracterización de las diferentes fuentes de aporte de agua y funcionamiento del pretratamiento permitieron establecer las propuestas que se describen en el siguiente apartado.

Actuaciones De Mejora Propuestas.

Las actuaciones de mejora propuestas se centran en tras aspectos fundamentales:

- Optimización del pretratamiento

A pesar de los bajos valores de obtenidos para el Índice de ensuciamiento o atascamiento (SDI) el en el agua de alimentación a membranas, estudios complementarios realizados (comentado en apartado 3.1) confirman la presencia de sílice en las membranas en primera posición y los filtros de cartucho, que llega en forma coloidal y que no es retenida en el pretratamiento de forma efectiva.

Una vez realizada la revisión del funcionamiento del pretratamiento y las prácticas de mantenimiento y limpieza, se propone un cambio en las tareas de lavado de filtros. Los filtros de arena son lavados con agua de rechazo, almacenada en un tanque de 30 m³. Para evitar emplear en esta tarea agua almacenada durante periodos de tiempo elevado (problemas de precipitación), se modifica el régimen de funcionamiento realizando un vaciado previo del tanque antes del arranque de cada limpieza, que se realiza entonces con agua de rechazo reciente.

La dosificación de floculante (compatible con membranas de poliamida) previa a los filtros de arena con el fin de optimizar la retención de sílice coloidal también ha sido considerada (resultados favorables en trabajos a escala laboratorio), si bien no se han realizado pruebas en planta hasta la fecha.

- Prevención de los problemas de ensuciamiento por sílice mediante empleo de inhibidor de incrustación específico.

En un sistema de ósmosis inversa se emplean de forma habitual productos específicos para inhibir la formación de incrustaciones y depósitos denominados comúnmente antiincrustantes. Desafortunadamente los métodos tradicionales de control de la incrustación aplicados a sales minerales cristalinas (carbonato cálcico, sulfato cálcico, sulfatos de bario y estroncio, etc.) no son válidos para la sílice debido a su estructura amorfa y este aspecto ha sido objeto de numerosas investigaciones en los últimos años [6].

El formulado GENESYS SI, un producto que combina inhibidores de incrustación y dispersantes para sistemas que operan con elevadas concentraciones de sílice, se seleccionó como alternativa técnica a tratamientos probados con anterioridad. La dosificación se estableció en un valor medio aproximado de 4 mg/L, si bien este valor debe ajustarse de forma regular en base a los cambios en el pH, temperatura y composición del agua mezcla (concentración de sílice, fundamentalmente) utilizando el software de cálculo GENESYS MEMBRANE MASTER©. La dosificación de este antiincrustante se inicia en fecha 9/09/2008.

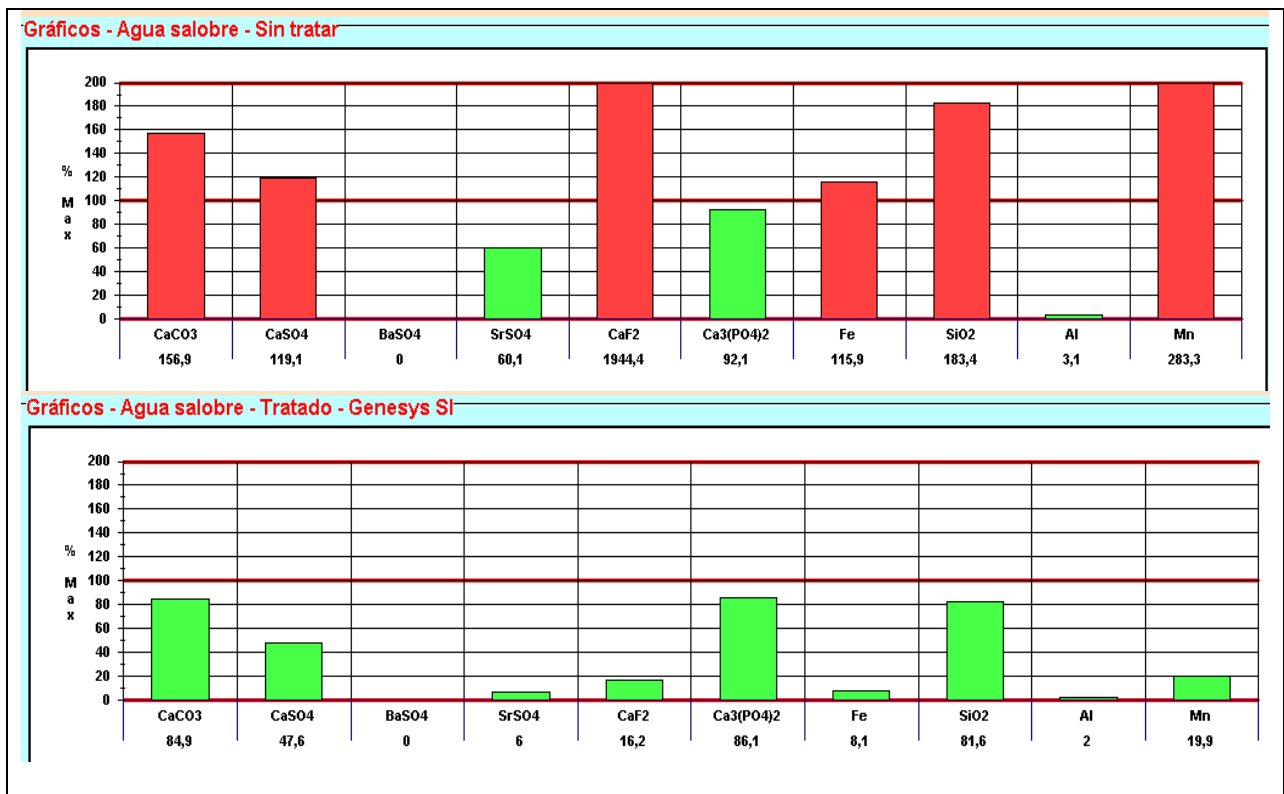


Figura 7.- Potenciales de incrustación/ensuciamiento para el agua bruta (mezcla) y el agua tratada con Genesys SI. Datos calculados para condiciones medias de operación (conversión 75%)

- Optimización de los protocolos y prácticas de limpieza.

Además de prevenir el ensuciamiento de las membranas, una de las metas de este trabajo de evaluación y propuestas de mejora, era optimizar las prácticas de limpieza aplicadas en planta hasta el momento. Durante la realización de las autopsias de membranas descritas en el apartado 3.1, se realizaron además ensayos de limpieza con el fin de comparar en célula de flujo los diferentes programas probados en planta y la valoración de nuevas alternativas que permitieran reducir los costes asociados mediante reducción de los tiempos de parada (limpiezas de menor duración) y aumentos en

la vida útil de los elementos de membrana (propuestas efectivas a temperaturas inferiores a 40°C y pH<12,5).

Resultado de estos ensayos se propone un protocolo de limpieza en 3 pasos (Ver Tabla 3), alcalino-ácido-alkalino, válido para ambas etapas al ser efectivo tanto en la eliminación de sílice como de óxidos metálicos y/o otras posibles incrustaciones. La aplicación del protocolo descrito permite alcanzar los valores de diseño para el caudal, si bien los valores de retención de sales mejoran por debajo de las especificaciones establecidas por el fabricante de las membranas. Este hecho se debe a que las membranas empleadas en estos ensayos presentan daños irreversibles en su estructura asociados a la operación bajo condiciones de ensuciamiento severas, según demuestran los resultados obtenidos en las pruebas de integridad realizadas durante el procedimiento de autopsia (fuera del alcance de este trabajo).

Tabla 3 Programa de limpieza propuesto tras los ensayos en célula de flujo.

Programa de limpieza propuesto					
Paso 1	Limpieza alcalina	2% Genesol 40	(4 horas)	pH ≤ 12	35°C
Paso 2	Limpieza ácida	1% Ácido cítrico	(2 horas)	pH ≤ 4	25°C
Paso 3	Limpieza alcalina	2% Genesol 40	(4 horas)	pH ≤ 12	35°C

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En las Figuras 8 y 9 se muestran los datos para el flujo de permeado normalizado (expresado en m³/h), para el bastidor n°1, primera y segunda etapa respectivamente. En fecha 9/09/2008 se realiza una limpieza de membranas según el protocolo descrito en el apartado 3.2.3 en ambas etapas. El objetivo de esta limpieza es iniciar el periodo de evaluación de las actuaciones de mejora con las membranas limpias y así evaluar su eficiencia en la prevención de los depósitos de sílice utilizando como referencia las variaciones (disminuciones) en el caudal de producción.

Los datos recopilados para la 1ª etapa (Figura 8) ponen de manifiesto que el caudal de producción desde septiembre de 2009 se ha mantenido más constante que en el periodo de operación anterior, en valores comprendidos entre 150-160 m³/h. No se han realizado limpiezas químicas desde septiembre de 2008, lo que supone más de un año de operación sin paradas.

Los datos de caudal de producción de 2ª etapa (Ver Figura 9) indican que, en los 6 primeros meses de operación según las recomendaciones descritas (septiembre 08 – marzo 09), el caudal disminuye de forma progresiva hasta valores próximos a 30 m³/h, momento en el que se decide limpiar las membranas de segunda etapa (en ciclos de operación anteriores se habían llegado a alcanzar valores próximos a 20 m³/h antes de iniciar procedimiento de limpieza química). Tras una limpieza según el protocolo propuesto, y ajustes en el pretratamiento, se reanuda la operación. El caudal se mantiene estable hasta octubre de 2009 sin que se detecten síntomas de ensuciamiento que hagan prever limpiezas a corto plazo. Estos datos confirman una disminución significativa de las frecuencias de limpieza superando en segunda etapa los 6 meses de operación sin paradas.

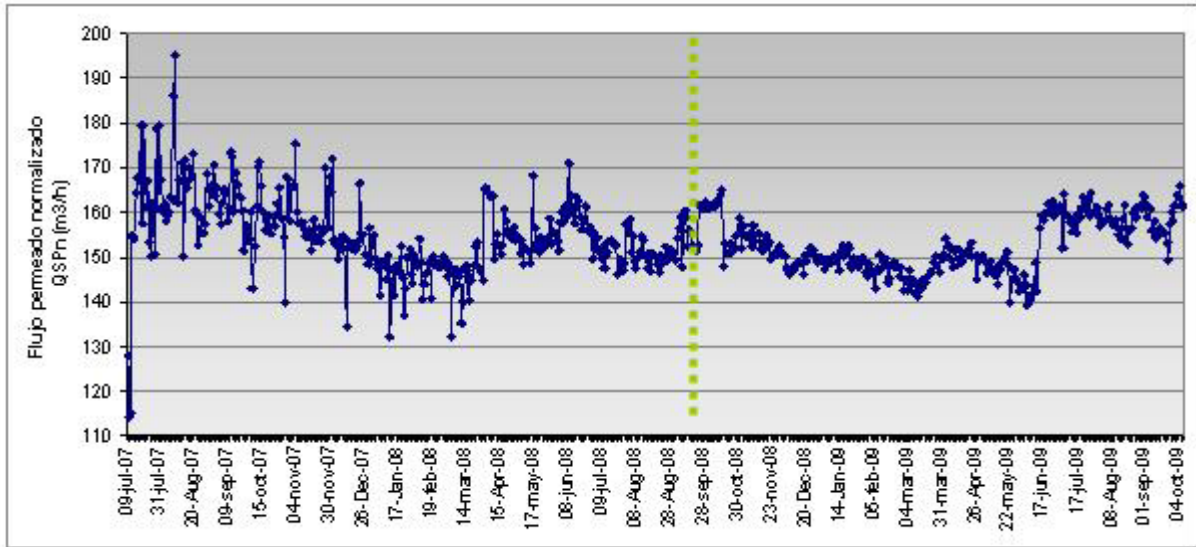


Figura 8 Flujo de permeado normalizado (m³/h) en 1ª Etapa (Bastidor 1) en el periodo julio 2007-octubre 2009.

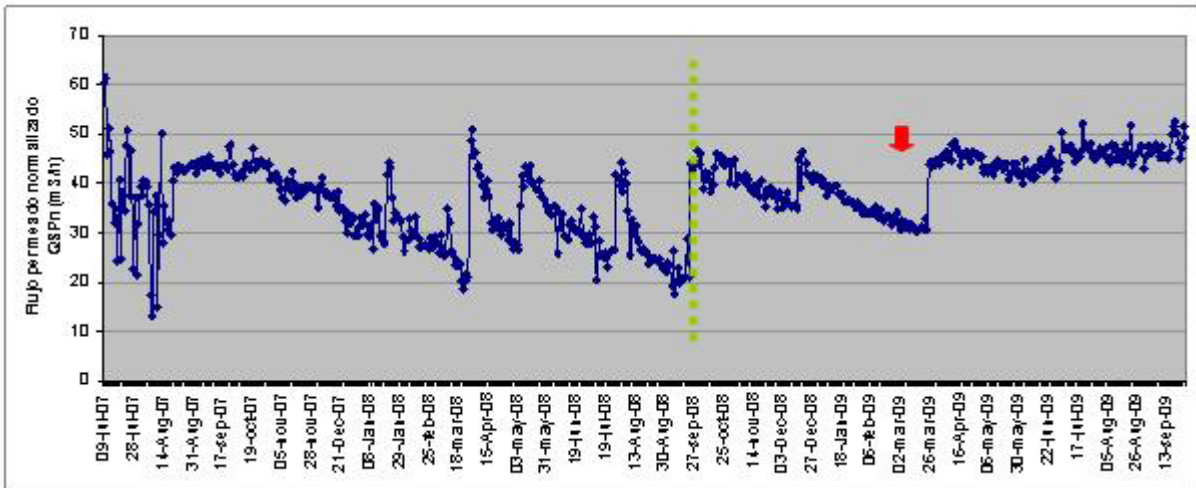


Figura 9 Flujo de permeado normalizado (m³/h) en 2ª Etapa (Bastidor 1) en el periodo julio 2007-octubre 2009.

CONCLUSIONES

La evaluación conjunta del histórico de datos de operación y las medidas adoptadas en la Planta Desaladora de Arica revisadas a lo largo de este artículo permiten concluir que:

- La instalación lleva operando satisfactoriamente a la conversión de diseño del 75% (lo que supone una concentración media de sílice en el rechazo de 230-240 mg/L) desde septiembre de 2008, empleando un antiincrustante específico para sílice (Genesys SI). Los análisis de control de agua de alimentación indican valores puntuales de sílice en el agua de aporte superiores a 75 mg/L (lo que supone concentraciones de sílice en el rechazo superiores a 300 mg/L)
- La frecuencia de limpieza de membranas se ha reducido de forma significativa mediante ajustes y optimización del pretratamiento. Desde el inicio de la dosificación del antiincrustante GENESYS SI, los periodos de operación entre limpieza han pasado a superar los 6 meses de operación en continuo.

Una de las principales trabas al empleo de antiincrustantes específicos en instalaciones de ósmosis inversa es el mayor coste que representan respecto a los convencionales, pero en estos cálculos no se tienen en cuenta los ahorros asociados en los costes de explotación. En el caso presentado en este artículo se ha observado la reducción de los problemas de precipitación y/o ensuciamiento detectados en esta instalación, lo se traduce en menores presiones de trabajo (el consumo específico medio se ha reducido 0,06 kWh/m³) y menores frecuencias de limpieza (una reducción de 12 a 1 limpiezas anual de mantenimiento en segunda etapa). Además habría que tener en cuenta en este cálculo otros beneficios indirectos como la reducción de costes de personal en operaciones de limpieza, un aumento de la producción total al reducir las horas de parada así como un aumento de la vida media de los elementos de membrana difíciles de cuantificar.

RECONOCIMIENTOS

Especial agradecimiento al personal responsable de la operación de la planta Desaladora de Arica por la puesta en marcha de las medidas propuestas y el exhaustivo trabajo de control y recopilación de datos que han permitido la publicación de este trabajo. Especial mención a Eduardo Peña Lagos (Analista Químico), Pablo Gaete Inostroza (Operador de planta), Martín Mollo Lucay (Operador de planta), Luis Orellana Loins (Operador de planta), Guido Tosetti Rodríguez (Operador de planta), Marteriano Mollo Quispe (Mecánico mantenedor), Francisco Saavedra Asistiri (Electrónico de mantención), Esteban Castro Hernández (Jefe de Mantención).

REFERENCIAS

- [1] Koo T, Lee Y.J., Sheikholeslami R, “Silica Fouling and Cleaning of Reverse Osmosis Membranes”, *Desalination* 139(2001), 43-56.
- [2] Sheikholeslami R, Tan S, “Effects of Water Quality on Silica Fouling of Desalination Plants”, *Desalination* 126(1999), 267-280.
- [3] Sahachaiyunta P, Koo T, Sheikholeslami R , “Effects of Several Inorganic Species on Silica Fouling in RO Membranes”, *Desalination* 144(2002), 373-378.
- [4] Freeman S.D.N. ,Majerle R.J., “Silica fouling revisited” *Desalination*, 103(1995) 113.
- [5] Darton E.G. “RO Plant Experiences with High Silica Waters in the Canary Islands”, *Desalination* 124 (1999) 33-41.
- [6] Demadis K.D. et al. “Inorganic foulants in membrane Systems: Chemicals control strategies and the contribution of the “green chemistry””, *Desalination* 179 (2005) 281-295.

CONTACTO

Gallego S. y del Vigo F., Genesys Membrane Products, Calle Londres 38 (Oficina 204), 28232, Las Rozas, Madrid - Tel: +34 91 6667316 – Fax: +34 91 6667318– genesys@genesysro.es