

Plataforma Experimental para la Optimización del Proceso de Desalación de Agua de Mar mediante Ósmosis Inversa.

Autores/Authors: José María Suescun Rojas (Dpto. I+D+i, Cadagua S.A., jmsr@cadagua.es), Alicia Gómez González (Dpto. I+D+i, Cadagua S.A., agg@cadagua.es), Issam Haf-Haf Mazrina (Dpto. I+D+i, Cadagua S.A., ih@cadagua.es), Javier Arrieta Morales (Dpto. I+D+i, Cadagua S.A., jam@cadagua.es), Francisco Del Molino Pérez (Dpto. Calidad e I+D+i, Cadagua S.A., fdelmolino@cadagua.es). Miguel Ángel Gómez Nieto (Grupo de Investigación de Tecnologías de Tratamiento y Gestión del Agua. Universidad de Granada, mgomezni@ugr.es), Jorge Ignacio Pérez (Grupo de Investigación de Tecnologías de Tratamiento y Gestión del Agua. Universidad de Granada, jorgeig@ugr.es)

Resumen:

La presente exposición describe las principales experimentaciones llevadas a cabo en la Plataforma Experimental de desalación de agua de mar mediante Ósmosis Inversa (O.I) que Cadagua ha diseñado, construido y operado a lo largo de los últimos años y que se encuentra situada en la IDAM de Melilla. La instalación, que consta de una amplia gama y combinación de posibles pretratamientos empleados para el acondicionamiento del agua de mar previa a su alimentación a los bastidores de O.I, tiene una capacidad de producción de 140m³/d.

La comparación de un tratamiento convencional compuesto de una floculación hidráulica en doble etapa, una decantación lamelar, y una doble etapa de filtración dual a presión, con un tratamiento de ultrafiltración, ha permitido comprobar que la calidad del agua obtenida en ambos casos no ofrecen unas diferencias apreciables entre sí; por lo que es posible alcanzar la misma calidad de agua con un pretratamiento convencional bien diseñado y un sistema de filtración mediante membranas.

En la actualidad, los filtros de arena y arena/antracita a presión, forman parte de la mayoría de los pretratamientos empleados en la desalación de agua de mar, por lo que un conocimiento profundo de los parámetros que gobiernan este proceso es fundamental para su posterior diseño e implementación. Para ello, se han llevado a cabo experiencias encaminadas a determinar las condiciones óptimas de operación de los sistemas de filtración granular a presión, evaluando tanto el fluido empleado en la etapa de lavado como el efecto de la velocidad de filtración sobre la calidad del agua obtenida.

La evaluación de un sistema alternativo a los filtros de cartuchos, ha permitido comprobar que si bien la calidad del agua que aporta es similar en términos de SDI y turbidez efluentes, los costes de inversión desaconsejan, en la actualidad, su implantación para esta función.

El estudio de configuraciones avanzadas de empleo de recirculaciones internas de rechazos provenientes del 2º paso a cabecera del proceso de O.I, ha permitido comprobar una mejora del proceso de desalación con una reducción del consumo eléctrico de un 5%.

1 INTRODUCCIÓN

El proceso de desalación de agua de mar mediante ósmosis inversa es el proceso más empleado en la actualidad, y representa el 80% de la totalidad del mercado de la desalación [1,5]. Sus principales ventajas son la simplicidad del proceso y los costes de operación en comparación con otras tecnologías de desalinización. Sin embargo, la ósmosis inversa (OI) tiene ciertos inconvenientes relacionados con la membrana, siendo el ensuciamiento (que puede clasificarse en cuatro grupos [2]: precipitación química, depósito de coloides y partículas, depósitos de compuestos orgánicos y la aparición de bio-películas), el más importante de ellos [3].

Un control adecuado de los potenciales tipos de ensuciamiento que pueden aparecer sobre la superficie de la membrana de O.I, es crucial para garantizar su rendimiento operativo [4], evitando y/o reduciendo dicho problema y manteniendo un flujo de permeado constante a través de la misma; para lo cual se hace necesario someter al agua a un acondicionamiento, previo a su introducción en los bastidores de O.I.

La calidad del agua influente determinará el tipo de acondicionamiento/tratamiento a aplicar y dependerá tanto de las características físico químicas (presencia de sólidos suspendidos, materia orgánica, aceites y grasas y sales poco solubles [10]), como del tipo de toma de agua empleada en su captación. Se ha comprobado que las tomas bajo superficie (pozos playeros, drenes o galerías de infiltración) aportan una mejor calidad frente a la captación en las tomas abiertas, ya que se produce un pretratamiento natural del agua [9], lo cual va a determinar la intensidad del tratamiento posterior a emplear en el proceso de desalación.

Los pretratamientos convencionales empleados habitualmente son, entre otros, la coagulación/floculación con y sin clarificación o flotación por aire disuelto y la filtración con lecho granular [10]. La filtración directa, utilizando una filtración monocapa, dual o mixta, es la tecnología más empleada para la adecuación del agua de mar antes del sistema O.I. La filtración depende de una combinación de mecanismos físicos y químicos complejos, siendo el más importante la adsorción (la adherencia de las partículas suspendidas sobre la superficie de los granos del medio). El diseño del filtro, tanto en relación a su operatividad como a la calidad de agua obtenida, será función tanto de la calidad del agua a tratar, de la composición de las capas (alturas, tamaño y geometría de los materiales del lecho), así como de las características de los sólidos suspendidos a retirar [10].

En el otro extremo se encuentran los pretratamientos basados en la tecnología de membranas (microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración), las cuales proporcionan un agua de alta calidad [4], libre de sólidos suspendidos, a costa de unos costes de operación, en general, superiores a los obtenidos con los pretratamientos convencionales. A pesar de ello, existen estudios que han demostrado que las diferencias aportadas por un pretratamiento mediante de membranas de ultrafiltración no son significativas frente a un tratamiento convencional adecuadamente diseñado [5].

Generalmente, los criterios que debe cumplir el agua de alimentación para la desalinización mediante membranas de O.I tras ser sometidos a los diferentes pretratamientos, son una turbidez inferior a 1 UNT, y un Índice de Densidad de Sedimentos (SDI_{15}) o “de ensuciamiento” menor que 4 (habitualmente se aconseja menor que 3 [7]). Tanto el SDI_{15} como el Índice de Ensuciamiento Modificado (IMF) [4], herramientas de predicción de incrustaciones más comúnmente aceptadas, no brindan información suficiente acerca de otros problemas importantes de ensuciamiento, como son el desarrollo de biopelículas o los depósitos de partículas, pero debido a su sencillez de cálculo son generalmente aceptadas como medida de control de la calidad del agua a introducir a las membranas de O.I.

Como último paso de pretratamiento a la O.I, se emplean filtros de cartuchos, con un tamaño variable de poro entre 1 y $20\mu\text{m}$, con el fin de proteger y evitar daños sobre la membrana de O.I de las partículas que han podido atravesar los medios filtrantes [10][3].

Los requerimientos exigidos por la legislación en cuanto a la calidad del agua tras el proceso de O.I (concentraciones de boro inferiores a $0,5\text{mg/l}$, y un Riesgo de Acumulación de Sodio (SAR) bajo, inferior a 10, si el agua se va a emplear para riego [12]), así como las de los propios explotadores encaminadas a reducir el consumo energético del proceso de desalación, ha obligado a los fabricantes de membranas al desarrollo de

nuevos elementos, que aumenten tanto la producción como el rechazo de sales y de contaminantes específicos (boro). Así mismo, se han estudiado diferentes configuraciones de proceso a través de dobles etapas de ósmosis, así como la hibridación de los elementos que se introducen en los tubos de presión, como alguno de los métodos para aumentar la producción y adaptarse a los requerimientos de calidad de agua solicitados [13]. La eliminación de boro puede acometerse añadiendo tanto un segundo paso de O.I, como incluyendo equipos específicos para su eliminación, como son los intercambiadores iónicos de resinas, lo cual implica un incremento sustancial de la inversión y de los costes de operación del proceso de desalación de agua de mar [3].

La necesidad de estabilización final del agua, tras el proceso de desalación, implica tanto la adecuación para su distribución, como para el consumo humano o empleo en riego. El proceso de remineralización consigue ambos objetivos a través del aumento de la dureza y la alcalinidad, de manera que se alcance un índice de saturación ó de Langelier (LSI) que esté próximo a cero y en equilibrio con la atmósfera. Entre las técnicas más habitualmente empleadas para llevar a cabo el proceso de remineralización se pueden destacar: el empleo de lechada de cal ($\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2$ ó H_2SO_4), los lechos de calcita ($\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2$ ó H_2SO_4) y los lechos de dolomita ($\text{MgOCaCO}_3 + \text{CO}_2$ ó H_2SO_4) [8]. La adición de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} permite mejorar tanto el efecto de la corrosión del metal (evitando la liberación no deseada de iones metálicos como plomo, cobre y zinc en el agua potable), como disminuir el SAR [11].

2 OBJETIVOS

El objetivo principal de las diferentes experimentaciones llevadas a cabo en la plataforma experimental es la obtención de un conocimiento profundo de los diferentes procesos que componen el proceso de desalación de agua de mar mediante O.I, con el fin de conseguir la optimización de los mismos. Se ha tratado de optimizar los diferentes pretratamientos tanto en relación a las condiciones de operación como a la calidad del agua obtenida tras los mismos.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación de la Plataforma experimental.

La experimentación presentada se ha llevado a cabo, a escala piloto, en la Plataforma Experimental de O.I que Cadagua ha diseñado, construido y operado, en la IDAM de la ciudad de Melilla ubicada en los Cortados de Agadú (Figura. 1).



Figura 1.- Localización de la Desaladora de la ciudad de Melilla.

Los diferentes tratamientos que componen la Plataforma experimental, se encuentran localizados en cuatro contenedores marítimos interconectados entre sí, y a las diferentes unidades que se encuentran en áreas exteriores anexas a ellos, tal y como se observa en la Figura 2, en la que se muestran una vista de la ubicación de la plataforma experimental en el interior de la IDAM de Melilla, así como la disposición de los contenedores.



XII Congreso Internacional de Aedyr –Toledo, España, 23-25 Octubre, 2018
REF: AedyrTOL18-27

Figura 2.- Localización de la Plataforma Experimental y disposición de contenedores.

3.2 Características del agua bruta.

El agua de mar empleada durante la experimentación, obtenida a través de una captación abierta situada a 15 metros de profundidad, ha presentado unos valores promedio de salinidad y conductividad de entorno a los 39,3 g/L y 53,5 mS/cm, respectivamente; siendo el valor promedio de pH de 8,1. Por su parte, la temperatura del agua varía entre un mínimo de 16°C en invierno, y un máximo de 25°C en verano. Los valores del SDI₁₅ del agua bruta se encuentran en unos valores de alrededor de 5-6. En las tablas 1 y 2 se presenta una caracterización fisicoquímica promedio del agua de mar de Melilla.

Tabla 1. Agua de Mar de Melilla

Turbidez (U.N.T)	Sólidos Disueltos (mg/l)	Absorbancia ₂₅₄ (m ⁻¹)	Color ₄₃₆ (m ⁻¹)	Color ₅₂₅ (m ⁻¹)	Color ₆₂₀ (m ⁻¹)	C.O.T (mg/l)	C.I.T (mg/l)	C.T (mg/l)
2,2	4,9	1,1	5,4	3,8	3,5	4,0	32,6	36,6

Tabla 2. Principales iones presentes en el agua de mar de Melilla (mg/l)

Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	B
481,0	1483,0	11922,0	510,0	21670,0	3100,0	17,5	100,0	5,5

El agua bruta que alimenta los diferentes pretratamientos de los que consta la plataforma experimental, se toma, mediante una bomba de inmersión desde la cámara de captación de la propia IDAM, y se recoge en un tanque de recepción desde el cual se alimentan los diferentes pretratamientos.

3.3 Equipamiento de la Plataforma experimental.

La plataforma experimental, con una capacidad de producción de agua de 140m³/d, está compuesta por diferentes líneas de proceso y se encuentran representadas esquemáticamente en la Figura 3:

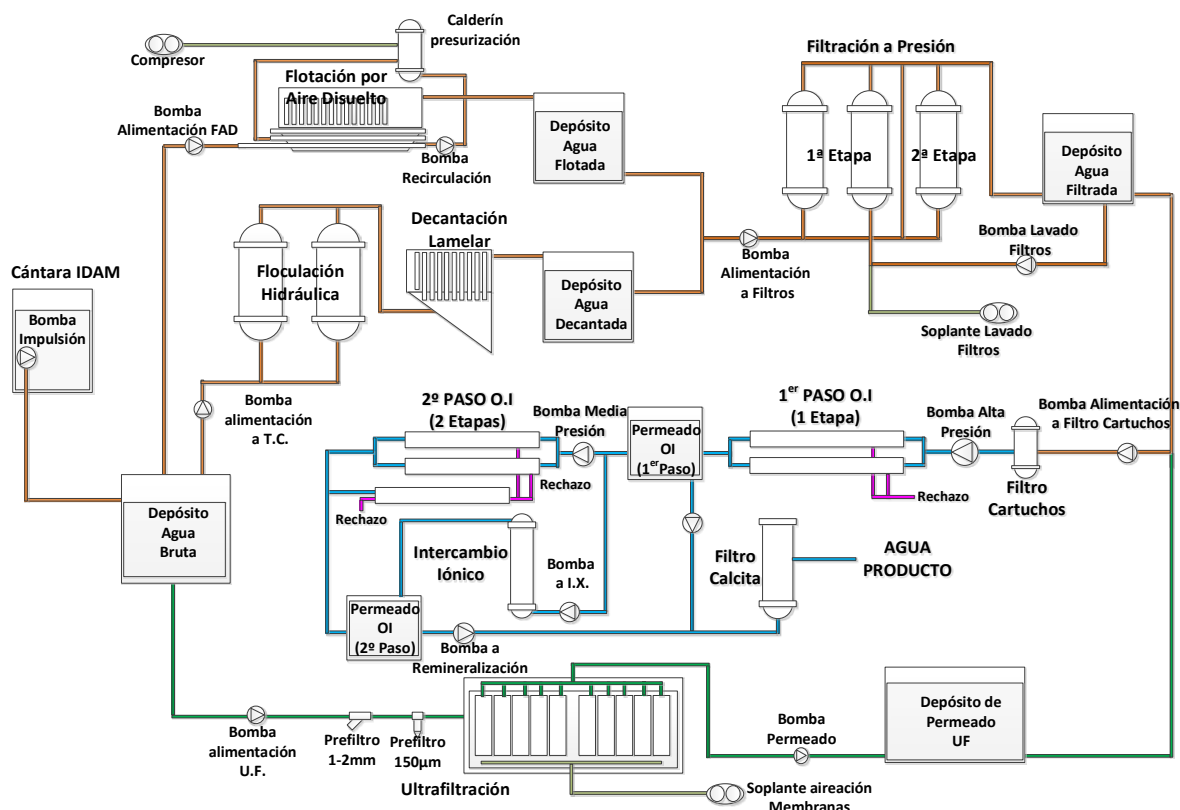


Figura 3.- Diagrama de proceso de la Plataforma Experimental.

El nivel de automatización de la planta permite el control y registro de todos los parámetros que pueden ser importantes para llevar a cabo los diferentes estudios experimentales a través de un SCADA. Existen múltiples medidores a lo largo de las diferentes líneas de proceso: medidores de temperatura, transmisores de caudal, medidores de presión absoluta y diferencial, pH, turbidez, Redox, conductividad y cloro libre, que recogen, en tiempo real, la evolución de las condiciones de operación de la instalación.

3.3.1 Pretratamiento Convencional.

El pretratamiento convencional de la planta piloto está compuesto por los siguientes elementos (Figura 4):

- Tanque de recepción de agua de mar de 1,5m³ de capacidad, equipado con una bomba centrífuga con caudal variable para la alimentación de las diferentes etapas del pretratamiento.
- Sistema de dosificación de diferentes reactivos químicos para acondicionamiento del agua influente (FeCl₃, H₂SO₄, NaOH y NaOCl), en función del pretratamiento al que vaya a ser sometida.
- La instalación dispone de dos sistemas diferentes de floculación hidráulica, una floculación en tubería y otra a través de dos reactores a presión con posibilidad de trabajo en serie o en paralelo, para regulación del tiempo de residencia y de la potencia disipada.
- Dos equipos de separación de sólidos tras la etapa de floculación: una flotación por aire disuelto (FAD) y una decantación lamelar.
- El agua, tras la etapa de coagulación-floculación-separación, se almacena en un depósito de recepción, para la siguiente fase del proceso.
- La etapa final del pretratamiento convencional está compuesto por tres filtros duales a presión (arena/antracita), dos de ellos conforman la primera etapa de filtración y el restante actúa como segunda etapa de filtración. Cada filtro dual dispone, como equipamiento principal, de un medidor de caudal del agua alimentada, y de un medidor de presión diferencial como medida del ensuciamiento del lecho, lo cual permite realizar el seguimiento de cada una de las unidades de forma independiente.

La velocidad de filtración empleada en los filtros puede variarse entre 6 m³/m²h y 22 m³/m²h, dependiendo de la configuración empleada.

Las unidades de filtración disponen de un sistema para el lavado de los lechos compuesto por un conjunto de 2 bombas y de una soplante que permiten velocidades variables entre 20 y 65 m³/m²h del agua de lavado, y de hasta 60m³/m²h para el aire. Estas velocidades deberán ser seleccionadas en cada situación, ya que son función tanto de la temperatura como de la salinidad del fluido empleado.



Figura 4.- Floculadores hidráulicos, Decantador Lamelar, Filtros Duales y Floculador hidráulico en tubería y FAD.

3.3.2 Pretratamiento de Ultrafiltración.

El pretratamiento de ultrafiltración (Figura 5) está compuesto por 24 membranas de ultrafiltración con arrollamiento en espiral (ASWUF) de polisulfona aromática sumergidas en un depósito de 12m³; presentan, además de una superficie unitaria de 16,2 m² y 20 kDa de corte molecular (MWCO), un flujo de 45 l/m²h. Previo a la alimentación del pretratamiento, se dispone de un sistema de acondicionamiento del agua compuesto por 2 filtros en línea de 500 μm y 150 μm de tamaño de paso respectivamente, que evitarán el deterioro de las membranas.

La dosificación química para el acondicionamiento del agua y para la limpieza de las membranas (NaClO, NaOH y Ácido Cítrico), consta de depósitos de dosificación diferenciados para cada reactivo, equipados con una bomba peristáltica con filtro de muestra, agitador y medida de nivel.



Figura 5.- Vista del interior del Contenedor y Depósito de Membranas de UF durante la aireación.

3.3.3 Bastidores de O.I.

El primer paso de O.I. se compone de dos tubos de presión que alojan 7 membranas de ósmosis de 8 pulgadas y 41m² de superficie cada una. La producción diaria del primer paso es de 140m³/d a un 45% de tasa de conversión.

El segundo paso consta de dos etapas, la primera con dos tubos de presión, y la segunda con uno solo de ellos; todos ellos cargados con 7 elementos de 4 pulgadas. La producción diaria de este segundo paso es de 106 m³/d al 70% de la tasa de conversión y permite obtener un agua que cumple con los requisitos de boro determinados por la legislación.

El estudio de la eliminación del boro se completa con una unidad de intercambio iónico diseñado para el tratamiento de 5m³/h de agua desalada, cuya capacidad de extracción podrá ser comparada con la segunda etapa de O.I. En la Figura 6, se presenta una vista de los bastidores de O.I. de los que consta la plataforma experimental:



Figura 6.- Vista del Filtro de cartuchos, Primer y Segundo Paso de O.I

3.3.4 Acondicionamiento final del agua desalada.

La última etapa de tratamiento se completa con un filtro de calcita que permite la re-mineralización de la totalidad del permeado obtenido en la O.I. La filtración se realiza en sentido ascendente y con un rango de velocidades que se encuentra en torno a los 11-14 m³/m²h y un tiempo de contacto variable entre 5 y 9 minutos. La acidificación del medio con el fin de favorecer la disolución de la calcita se realiza mediante la adición tanto de H₂SO₄ como de CO₂.

La cloración final del agua producto, que se lleva a cabo mediante la adición de NaClO, permite la adecuación del agua producto para su posible distribución a la red.

4 EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 Comparación del pretratamiento Convencional frente al pretratamiento de Ultrafiltración.

La comparación de ambos pretratamientos se llevó a cabo en las siguientes condiciones de trabajo:

1.-Pretratamiento Convencional. Se empleó una doble etapa de floculación hidráulica, con una dosificación de 4 mg/l de FeCl₃, decantación lamelar y los dos pasos de filtración dual a presión (arena/antracita), con una velocidad de filtración, en primera etapa, de 10,6 m³/m²h.

2.-Pretratamiento de Ultrafiltración. Las condiciones de trabajo han consistido en periodos de producción de 20 minutos (un flujo de 41l/m²h) con aireación continua, seguidos de fases de contra-lavado de 0,5 minutos, empleando agua ultrafiltrada como fluido de lavado que es recogida en un depósito de 10m³ de capacidad. La presión transmembrana se ha mantenido durante la operación entre -0,1 y -0,3 bar. La limpieza química se llevó a cabo cada dos días con cloro (100 mgCl₂/l) y una vez a la semana con ácido cítrico (pH = 4,5).

El SDI₁₅ promedio del agua producto tras el tratamiento convencional fue de 2,61 (conforme a los criterios expuestos anteriormente [7]). En la tabla 3, se presentan el resto de parámetros considerados para llevar a cabo la comparación de la calidad de agua obtenida.

Tabla 3. Calidad del Agua obtenida tras el Pretratamiento Convencional.

Turbidez (U.N.T)	Sólidos Disueltos (mg/l)	Absorbancia ₂₅₄ (m ⁻¹)	Color ₄₃₆ (m ⁻¹)	Color ₅₂₅ (m ⁻¹)	Color ₆₂₀ (m ⁻¹)	C.O.T (mg/l)	C.I.T (mg/l)	C.T (mg/l)
0,5	1,6	0,9	4,8	3,3	3,0	3,5	31,5	35,0

Por su parte, los resultados para el pretratamiento de Ultrafiltración se presentan en la Tabla 4. Indicar que el SDI₁₅ promedio obtenido durante la experimentación fue de 1,74.

Tabla 4. Calidad promedio del agua Ultrafiltrada

Turbidez (U.N.T)	Sólidos Disueltos (mg/l)	Absorbancia ₂₅₄ (m ⁻¹)	Color ₄₃₆ (m ⁻¹)	Color ₅₂₅ (m ⁻¹)	Color ₆₂₀ (m ⁻¹)	C.O.T (mg/l)	C.I.T (mg/l)	C.T (mg/l)
0,4	1,2	0,9	4,7	3,2	2,9	3,9	32,6	36,5

Los datos reflejados por las tablas 3 y 4 permiten concluir que ambos pretratamientos producen un agua de calidad adecuada para su alimentación a un proceso de O.I, siendo ligeramente superior en cuanto al SDI₁₅ para el pretratamiento de Ultrafiltración. Sin embargo, y debido a la etapa de coagulación/floculación, el descenso de la concentración de materia orgánica (TOC y Abs₂₅₄)es superior para el tratamiento convencional (15,4 % como TOC y 23,8% como Abs₂₅₄), frente a un 5,8 % y un 17,8 % obtenidos con la ultrafiltración.

4.2 Optimización de las condiciones de operación de la filtración granular a presión.

Se han evaluado las condiciones de operación de la primera etapa de filtración a presión de la plataforma experimental, tanto en relación al fluido de lavado utilizado durante la etapa de lavado, como a la velocidad de filtración empleada. Como fluidos de lavado se han empleado agua filtrada, agua bruta y el rechazo proveniente del 1er Paso de O.I, llevándose posteriormente un seguimiento de la duración del ciclo, de la presión diferencial (como medida del ensuciamiento del filtro) y de la recuperación de la presión inicial tras el lavado como medida de la eficacia de éste. Con el fin de determinar el efecto del fluido empleado durante el lavado, se ha mantenido tanto la configuración del lecho como la velocidad de filtración empleada (10,7m/h), así como la dosis de Fe³⁺ usada (0,32mg/l). Se ha llevado un seguimiento de la turbidez efluente como medida de la calidad del agua obtenida.

Se han llevado a cabo ensayos de laboratorio con aguas sintéticas obtenidas por disolución de NaCl en agua hasta alcanzar la salinidad propia de cada fluido (salmuera (S) con un TDS: 71.000 mg/l y agua de mar (A.M) de TDS: 39.000 mg/l) y se ha determinado la expansión generada en el lecho de arena, con objeto de seleccionar la velocidad de lavado más adecuada. Se ha empleado la arena con una granulometría idéntica a la empleada en la plataforma experimental con el fin de poder extrapolar los datos directamente. Así mismo, durante la realización de los ensayos se ha considerado la fluctuación anual del agua de mar de Melilla (15-25°C) con objeto de disponer del efecto que la temperatura ejerce sobre las propiedades físicas de los fluidos (densidad y viscosidad).

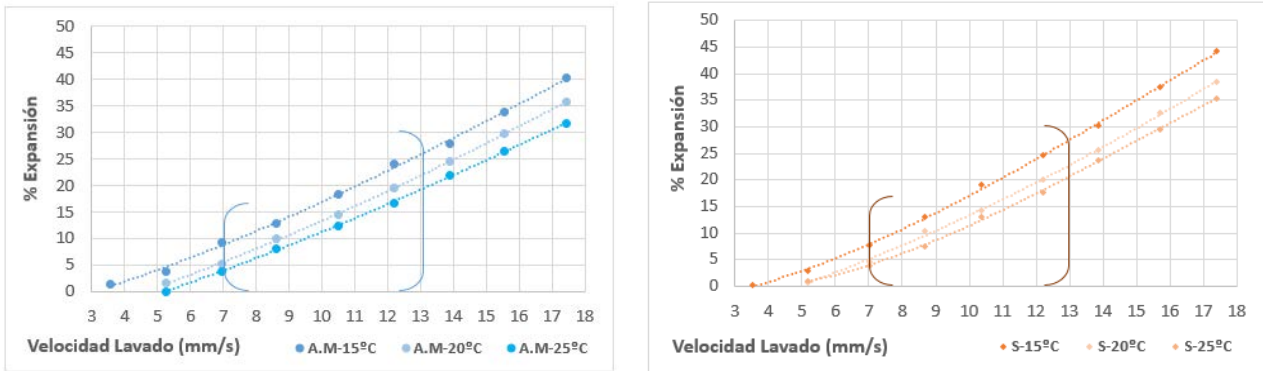


Figura 7.- Variación de la velocidad de lavado con la temperatura y la naturaleza del fluido (A.M: Agua de Mar, S: Salmuera)

Tal y como queda reflejado en la Figura 7, el cambio en la salinidad influye de manera poco significativa sobre la velocidad de lavado a emplear para conseguir una expansión determinada; sin embargo, la temperatura sí puede ofrecer diferencias en la velocidad de lavado a emplear de hasta un 15% entre realizar el lavado a 15°C (condiciones invernales) y a 25°C (condiciones de verano).

Una vez determinada la velocidad de lavado a emplear, se ha procedido a evaluar el efecto del fluido de lavado empleado, manteniendo la velocidad de filtración en 10,7m/h y añadiendo una dosis de Fe³⁺ de 0,32 mg/l.

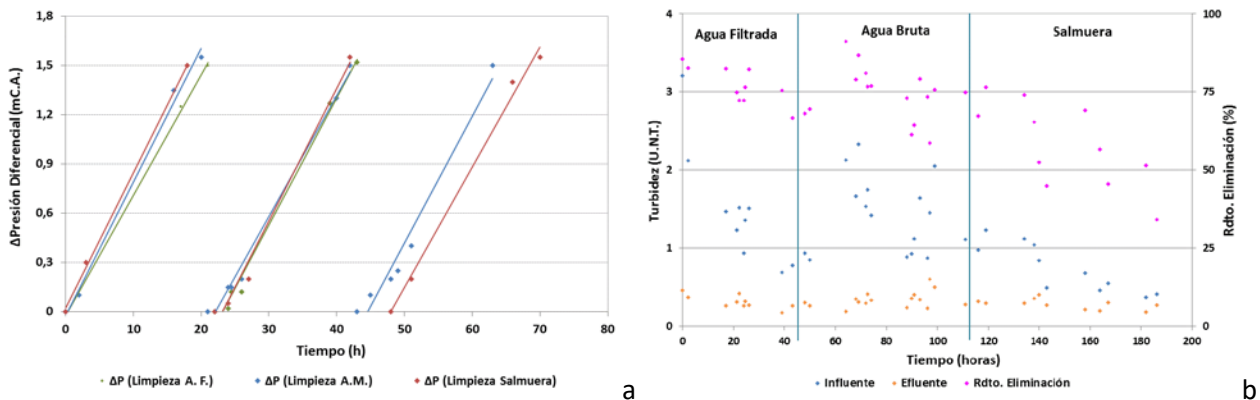


Figura 8.- Variación del Incremento de la presión con los diferentes fluidos de lavado a), Turbidez influente, efluente y Rendimiento de eliminación para el Agua Filtrada (A.F) , Agua Bruta (A.M) y Salmuera b).

No existe una diferencia apreciable en la operativa de los filtros tras lavar con los diferentes fluidos (Figura 8a), no influyendo en la calidad del agua obtenida, aunque el rendimiento de eliminación se reduce al emplear salmuera pero debido principalmente a que se reducen los valores de la turbidez de entrada.

Una vez llevado a cabo este estudio se procedió a determinar el efecto que la velocidad de filtración ejerce sobre la duración del ciclo y la carrera de filtración, para ello se mantuvo la composición del lecho en toda la experimentación y un incremento de presión para realizar el lavado de 0,15 bar. Las velocidades de filtración empleadas han variado entre 7 y 15 m³/m²h evaluando la turbidez a la salida como parámetro de seguimiento de la calidad del agua obtenida (indicar que se ha añadido una dosis de Fe³⁺ de 0,32 mg/l para reducir la duración del ciclo de filtración). La tabla 5, refleja los resultados obtenidos tras la operación de las unidades de filtración.

Tabla 5. Efecto de la velocidad de filtración sobre la duración del ciclo y calidad de agua obtenida

Velocidad Filtración (m ³ /m ² h)	Duración del ciclo (h)	Producción de Agua (m ³ /h)	Turbidez Efluente (U.N.T)
7	40	117.9	0.27
10	33	169.3	0.23
13	21	216.2	0.27
15	19	249.5	0.32

Los ciclos de filtración sufren una reducción apreciable en la medida que se aumenta la velocidad de filtración, sin embargo no se aprecia, al menos, hasta las velocidades ensayadas un empeoramiento de la calidad del agua.

4.3 Evaluación de los sistemas de acondicionamiento previo a los módulos de O.I.

Previa a la O.I, la plataforma experimental dispone de una etapa de filtración mediante un filtro de cartucho con seis unidades de 5 µm (figura 9.a), equipamiento que se emplea en la actualidad en la mayoría de las IDAM. Con el fin de determinar si existen pretratamientos alternativos a los mismos, se ha evaluado un filtro de anillas de 5 µm, tanto en base a criterios económicos como de calidad del agua obtenida. En la figura 9.b y 9.c se observa el equipamiento empleado para realizar la comparativa de tratamientos.



Figura 9.- Filtro de cartucho empleado en la plataforma experimental a), Filtro de anillas automático b) y Filtro de cartuchos c)

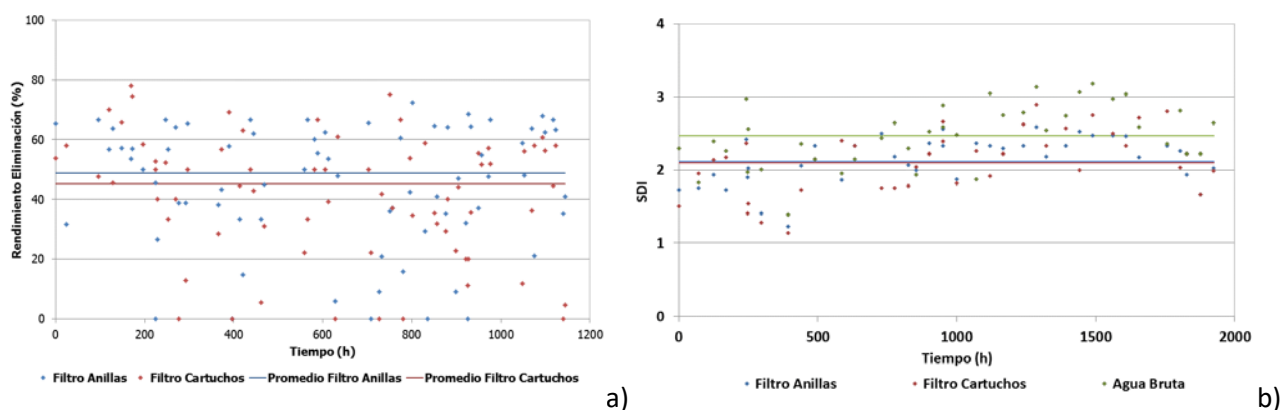


Figura 10.-Rendimiento de Eliminación de la Turbidez influente a) y Evolución del SDI₁₅ b) obtenidos tras la aplicación de cada uno de los tratamientos.

En la figura 10, se observan los resultados obtenidos con cada uno de los equipos de acondicionamiento del agua previa a la O.I, en términos de calidad de agua, los conseguidos mediante el equipo de filtros de anillas han sido ligeramente superiores en cuanto a la eliminación de la turbidez mientras que el filtro de cartuchos ha ofrecido mejores resultados en cuanto a la reducción del SDI influente. Económicamente, el sistema de filtración por anillas no puede hacer competencia al sistema de filtración por cartuchos, ya que, a pesar de que sus costes de operación y mantenimiento son inferiores, los costes de inversión iniciales son bastante más elevados que los de la filtración por cartuchos.

4.4 Influencia de la recirculación del rechazo del 2º Paso sobre las condiciones de operación del primer paso de la O.I.

Con el fin de optimizar el proceso de O.I, reduciendo el consumo eléctrico durante el proceso de desalación, se ha estudiado el efecto, que sobre la operación del primer paso, ejerce la recirculación del rechazo obtenido en el segundo. Se ha evaluado tanto la opción de variar la presión de operación como la de obtener una mayor productividad por un aumento de la conversión a la que se opera. La configuración estudiada sigue el esquema referido en la Figura 11.

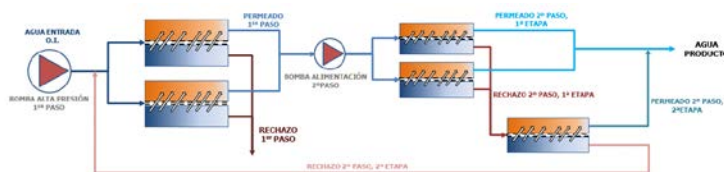


Figura 11.- Esquema de la configuración estudiada.

La dilución del agua de entrada que se produce al recircular el rechazo obtenido en la segunda etapa del segundo paso (con unos TDS de aproximadamente 500mg/l) implica una reducción tanto de la presión de operación como del consumo específico (considerando el caudal de permeado obtenido tras el 2º paso) de en torno a un 5%; un resumen de las variables se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Resumen de variables empleadas durante la experimentación.

Parámetro	unidad	1er PASO		2do PASO	
		SIN Recirc.	CON Recirc.	SIN Recirc.	CON Recirc.
Caudal Entrada	m ³ /h	12,8	12,8	5,7	5,7
Presión Entrada	bar	51,9	50,3	9,3	9,1
Conductividad entrada	mS/cm	61,3	58,2		
Caudal Permeado	m ³ /h	5,7	5,7	4,0	4,0
Conductividad Permeado	µS/cm	884,1	806,9	213,5	196,8
Conversión	%	44,0	44,0	70,3	70,3
Consumo Bomba Alta Presión	kW/m ³	5,6	5,3	8,0	7,5

4.5 Futuras investigaciones.

Desde Cadagua continuamos profundizando en el conocimiento de los procesos de desalación a través de la Plataforma Experimental descrita. Algunos de los estudios en marcha son:

Estudio del empleo de membranas comerciales de O.I diseñadas específicamente para la retirada de contaminantes como el boro.

Evaluación de la filtración a presión modificando las alturas de lecho, velocidades de filtración y granulometrías de los componentes del lecho, encaminado a la mejora del diseño de las unidades de filtración.

5 CONCLUSIONES

La Plataforma Experimental de Desalación diseñada, construida y operada por Cadagua ha demostrado ser una herramienta permanente de aprendizaje y experimentación y ha sido de gran ayuda para optimizar nuestros procesos y garantizar unos diseños robustos y a la vez competitivos.

Tanto el pretratamiento convencional como el avanzado mediante UF redujeron el SDI del agua de alimentación a la O.I a valores en el entorno a 2 y la turbidez a 0,4 NTU y fueron altamente eficientes en la eliminación de partículas de más de 1 µm. En general, la UF fue más efectiva que el tratamiento convencional, aunque éste eliminó el COT de manera más eficiente debido a la inclusión de la coagulación/floculación, aunque las fracciones de menor tamaño molecular no fueron retiradas por los pretratamientos.

No se han apreciado diferencias significativas tanto en la operatividad de las unidades de filtración mediante el empleo de los diferentes fluidos de lavado, como en la calidad del agua obtenida.

Se ha evaluado la evolución del ciclo de filtración en función de la velocidad de filtración empleada, en una primera etapa de filtración a presión, comprobándose que el aumento de la velocidad de filtración no implica una reducción de la calidad del agua obtenida.

Los diferentes sistemas de acondicionamiento del agua previo a la O.I ensayados (filtro de cartuchos vs. filtro de anillas), no aportan diferencias significativas entre sí, aunque debido a los costes de implantación, los filtros de anillas no suponen una opción económicamente viable.

Se ha comprobado que el empleo de configuraciones de proceso en el que se recircula el rechazo de la 2ª etapa del 2º Paso de O.I, permite una reducción del consumo eléctrico relativamente importante de en torno a un 5%.

6 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha contado con la financiación del Ministerio de Medio Ambiente de España a través de la Secretaría General de Territorio y Biodiversidad (096/SGTB/2007/2.2), por el Ministerio Español de Ciencia e Innovación (IPT-31000-2010-10) cofinanciado con fondos del FEDER y por el Programa INNOTEK del Gobierno Vasco (Nº IT-2009/00083).

7 BIBLIOGRAFÍA.

[1] L.F. Greenlee, D.F. Lawler, B.D. Freeman, B. Marrot and P. Moulin, Reverse osmosis desalination: water resources, technology, and today's challenges, *Water Research*. 43 (2009) 2317–2348.

[2] T. Waly, S. Saleh, M.D. Kennedy, G.J. Witkamp, G. Amy and J.C. Schippers, Will calcium carbonate really scale in seawater reverse osmosis? *Desalination and Water Treatment*, 5 (2009) 146–152.

[3] C. Fritzmann, J. Löwenberg, T. Wintgens and T. Melin, State of the art of reverse osmosis desalination, *Desalination*, 216 (2007) 1–76.

[4] C.J. Gabelich, W.R. Chen, T.I. Yun, B.M. Coffey and I.H. Suffet, The role of dissolved aluminium in silica chemistry for membrane processes, *Desalination*, 180 (2005) 307–319.

[5].- Fernández-Álvarez, G., Plaza, F., Garralón, G, Garralón, A., Pérez, J., Gómez M.A. A comparative study of ultrafiltration and physicochemical process as pretreatment of seawater reverse osmosis. *Desalination and Water Treatment*, 42 (2012) 73–79.

[6] J.A. Reverter, S. Talo and J. Alday, Las Palmas III, the success story of brine staging. *Desalination*, 138 (2001) 207–217.

[7].- S. Jamaly, N.N. Darwish, I. Ahmed, S.W. Hasan. A short review on reverse osmosis pretreatment technologies. *Desalination* 354 (2014) 30–38.

[8].- Manuel Hernández-Suárez. Guide for the Remineralization of Desalinated Waters. 2nd Edition: August 2010. ISBN: 978-84-614-3525-8.

[9].- Veronique Bonnelye, Miguel Angel Sanz, Jean-Pierre Durand, Ludovic Plasse, Frédéric Gueguen, Pierre Mazounie. Reverse osmosis on open intake seawater: pre-treatment strategy. *Desalination* 167 (2004) 191-200.

[10].- Noka Prihasto Qi-Feng Liu, Seung-Hyun Kim. Pre-treatment strategies for seawater desalination by reverse osmosis system. *Desalination* 249 (2009) 308–316.

[11].- L. Birnhack Nikolay Voutchkov, Ori Lahav. Fundamental chemistry and engineering aspects of post-treatment processes for desalinated water—A review. *Desalination* 273 (2011) 6–22.

[12].- H. Koseoglu N. Kabay, M. Yüksel, M. Kitis. The removal of boron from model solutions and seawater using reverse osmosis membranes. *Desalination* 223 (2008) 126–133.

[13].- B. Peñate, L. García-Rodríguez. Current trends and future prospects in the design of seawater reverse osmosis desalination technology. *Desalination* 284 (2012) 1–8.