

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y MEJORAS DE LA DESALADORA DE AGUA DE MAR DEL CAMPO DE DALÍAS

García Arancón, Jesús
Aguas de las Cuencas Mediterráneas, S.A. (ACUAMED)
jgarcia@acuamed.es

López Fuentes, Susana
Veolia Water Systems Ibérica, S.L.
susana.lopez@veoliawater.com

Palomino Castejón, Oscar
Veolia Water Systems Ibérica, S.L.
oscar.palomino@veoliawater.com

RESUMEN

La desaladora de agua de mar del Campo de Dalías se sitúa en el extremo Suroccidental de la provincia de Almería, en el término municipal de El Ejido, cerca del límite provincial con Granada; se enmarca dentro de la Ley 11/2005, habiendo sido encomendada su ejecución y explotación a la Sociedad Estatal ACUAMED (Aguas de las Cuencas Mediterráneas, S.A.) por el entonces Ministerio de Medio Ambiente.

La desaladora está proyectada, en su fase actual, para una producción neta de 30 hm³/año. Sin embargo, las infraestructuras están diseñadas previendo una capacidad -para una futura ampliación- hasta los 40 hm³/año. La producción, destinada a paliar el déficit hídrico local y la sobreexplotación de los acuíferos, se utilizará tanto para consumo humano como para riego.

La UTE formada por las empresas CRESCENCIO PEREZ, INYPSA, SANDO, VEOLIA AGUA y VEOLIA WATER SYSTEMS es la adjudicataria del contrato, que incluye el diseño, la construcción, la puesta en marcha y la operación y mantenimiento por 15 años de la instalación.

Manteniendo los criterios de diseño del proyecto adjudicado, la planta desaladora, en su concepción final, incorpora una serie de modificaciones al diseño original, dirigidas fundamentalmente a la disminución del consumo energético, al aumento de la flexibilidad de operación, de la durabilidad de los componentes y, en líneas generales, a la optimización de los procesos presentes en la misma.

En la presente ponencia se describen los procesos y soluciones adoptadas en el diseño de la planta desaladora del Campo de Dalías, así como el impacto que presentan las modificaciones introducidas, especialmente sobre la Huella de Carbono de la instalación.

SUMMARY

Campo Dalías Sea Water Desalination Plant is located in the southeast part of Almería, in the region of El Ejido, close to Granada. The desalination plant project falls within the scope of Law 11/2005, and its execution and exploitation has been developed by the stated-own company ACUAMED (Aguas de las Cuencas Mediterráneas, S.A.) formerly Ministry of Environment.

The desalination plant, in its current phase, is designed to be capable of providing a net production volume of 30 hm³ per year. However, the main infrastructures have been designed for a net capacity, in a future expansion, of 40 hm³ per year. The production is aimed to compensate the scarcity of water in the region as well as the overexploitation of the aquifers, and the final use shall be both human consumption and irrigation.

The contractor executing the project is a Joint venture (JV) which comprises the companies CRESCENCIO PEREZ, INYPSA, SANDO, VEOLIA AGUA y VEOLIA WATER SYSTEMS. The contract scope includes the design, construction and start-up of the desalination plant, and also the operation and maintenance for 15 years.

Using the design criteria of the awarded project as a basis, the desalination plant, in its final design, incorporates a number of modifications, with the main objective of reducing the energy consumption, increasing the operational flexibility, increasing the lifecycle of the components and, in general terms, optimizing the processes that take place in the installation.

It is the aim of this presentation to explain the processes and solutions adopted in the design of Campo Dalías desalination plant, and also to describe the impact of these modifications, particularly on the Carbon Footprint of the installation.

PALABRAS CLAVE

Desalación, Ósmosis Inversa, Eficiencia Energética, Huella de Carbono, Flexibilidad, Durabilidad.

INTRODUCCIÓN

La Confederación Hidrográfica del Sur, tras la declaración definitiva de la sobreexplotación del acuífero en septiembre de 1995, elaboró un Plan de Ordenación del Campo de Dalías con el objetivo de corregir esta situación. En dicho Plan se contempla la reducción de las extracciones en unos 50 Hm³/año, y su sustitución por recursos regulados en el embalse de Benínar, la reutilización de aguas residuales y la desalación de agua de mar.

Con esta finalidad, en lo referente a las medidas a adoptar para la obtención de agua potable para abastecimiento de poblaciones y riego, nace el proyecto de la desaladora del Campo de Dalías, cuyo objetivo es la obtención de agua potable mediante el proceso de osmosis inversa de agua de mar. Finalmente, se proyecta una planta con infraestructura para una producción de 40 hm³/año, instalándose, en esta primera fase, equipos para producir 30 hm³/año.

El proyecto se enmarca dentro de la Ley 11/2005 del Plan Hidrológico Nacional, siendo el gestor de esta actuación la Sociedad Estatal "AGUAS DE LAS CUENCAS MEDITERRÁNEAS, S.A (ACUAMED)".

El contrato para el diseño, la construcción, la puesta en marcha y la operación y mantenimiento por 15 años de la instalación se adjudicó a la Unión Temporal de Empresas formada por las empresas CRESCENCIO PEREZ, INYPSA, SANDO, VEOLIA AGUA y VEOLIA WATER SYSTEMS.

En líneas generales, el alcance del Proyecto de la Desaladora de Campo de Dalías comprende las siguientes actividades:

- Ejecución de las obras marítimas de captación de agua y de vertido de la salmuera generada.
- Obras propias de la construcción de la planta desaladora, incluyendo obras civiles, equipos mecánicos y equipos eléctricos.
- Red de distribución de agua desalada, formada por:
 - Tubería de impulsión entre la planta desaladora y el depósito de distribución de unos 4,5 km de longitud.
 - Depósito de Regulación, de 25.000 m³ de capacidad.
 - Tubería de distribución en gravedad del agua tratada, con cerca de 33 km de longitud.
- Obras de construcción de la línea de acometida eléctrica, de alta tensión, con una longitud aproximada de 11 km, y una subestación en la llegada a planta.

En la actualidad, el desarrollo del contrato referido se encuentra en la fase de ejecución de las obras.

DATOS DE PARTIDA

Calidad del agua de mar

Los datos obtenidos en los trabajos de campo realizados son:

Tabla 1. Calidad del agua de aporte a la desaladora

Parámetro	Teóricos	Reales
Sólidos Totales en Suspensión	20,0	18,7 mg/l
Sólidos Totales Disueltos (TDS)	39.728 mg/l	39.750 mg/l
Boro	5 mg/l	5 mg/l
Temperatura mínima de operación	18°C	14°C
Temperatura máxima de operación	26°C	23°C
pH	7,7	8,2

Capacidad de producción de la planta desaladora

La planta está diseñada para una posible ampliación, siendo las capacidades:

Tabla 2. Capacidad de producción de la planta

Fase actual	Capacidad de producción diaria neta	97.200 m ³ /día
	Disponibilidad de la planta	310 días/año
	Capacidad anual	30 Hm ³ /año
Ampliación	Capacidad de producción diaria neta	129.600 m ³ /día
	Disponibilidad de la planta	310 días/año
	Capacidad anual	40 Hm ³ /año

Calidad del agua producto

Valores límites que debe cumplir el agua para el consumo humano y regadío son:

Tabla 3. Requerimientos del agua producto

Parámetro	Valor
Sólidos Totales Disueltos (TDS)	<400 mg/l
Sulfatos	<200 mg/l
Cloruros	<250 mg/l
Sodio	<200 mg/l
Boro	<0,5 mg/l
pH	6,5 – 9,5
Índice de Langelier	LSI ± 0,5

OBJETIVOS

Atendiendo a los datos de partida reales, obtenidos de los trabajos de campo realizados, se pudo contrastar que el rango de temperaturas no se ajustaba a los parámetros iniciales de diseño, especialmente en lo relativo a la temperatura mínima.

Con la colaboración de todo el personal técnico adscrito a esta actuación, se decidió rediseñar el proceso de la planta con los objetivos que ahora se detallan, para lo cual hubo que incidir en los siguientes conceptos:

- **OBJETIVOS:**
 - o *Reducción huella del carbono*
 - o *Mayor durabilidad equipos instalados*

- **CONCEPTOS:**
 - o Optimización eficiencia energética
 - o Mayor flexibilidad
 - o Innovación materiales

Optimización eficiencia energética: Tanto el proceso como los equipos a instalar se han recalculado a fin de optimizar lo máximo posible los consumos energéticos de la planta, cumpliendo en todo momento las cantidades y calidades exigidas en el Pliego de Bases del Concurso con el fin de disminuir la huella de carbono en lo máximo posible.

La huella de carbono es la suma de todos los gases de efecto invernadero (GEI) causados directa o indirectamente por un individuo, organización, producto, evento, etc. El término GEI incluye varios gases (dióxido de carbono, metano, etc.) pero se utiliza un indicador, que es la tonelada de CO₂ equivalente

Flexibilidad: El diseño general se ha realizado de forma que el número de equipos de bombeo principales coincida con el número de líneas de producción. Con esto se consigue que la planta sea capaz de ajustarse lo máximo posible a la demanda requerida en cada momento.

Durabilidad: Las plantas desaladoras trabajan en un entorno altamente exigente para los materiales, con un elevado carácter corrosivo. Este efecto es especialmente acusado en los materiales metálicos, a pesar de las protecciones aplicadas. En concreto, aquellos materiales cuya protección consiste en algún tipo de recubrimiento, son los que más riesgo de corrosión pueden tener, sobre todo si están en contacto directo con agua de mar. Para aumentar la durabilidad de estos componentes, se ha intentado adaptar e integrar los últimos avances en materiales, con el fin de minimizar el alto riesgo a la corrosión al que están sometidos.

A continuación se procede a justificar de manera detallada los planteamientos expuestos.

DESCRIPCION DE LAS OBRAS Y MEJORAS PLANTEADAS

En su diseño final, la planta desaladora cuenta con la siguiente línea de tratamiento:

- Captación en toma abierta a través de una torre, y envío del agua bruta a la cántara de bombeo de agua de mar mediante inmisario submarino.
- Estación de bombeo de agua de mar desde cántara a pretratamiento.
- Pretratamiento del agua de mar:
 - Dosificación de hipoclorito sódico (dosis de choque)
 - Dosificación de ácido sulfúrico
 - Dosificación de cloruro férrico
 - Primera etapa de filtros a presión
 - Segunda etapa de filtros a presión
 - Dosificación de bisulfito sódico
 - Dosificación de anti-incrustante
 - Dosificación de hidróxido sódico
- Filtración de seguridad mediante filtros de cartucho.
- Proceso de ósmosis inversa:
 - Bombeo de alta presión a primer paso de ósmosis inversa
 - Primer paso de ósmosis inversa
 - Sistema de recuperación de energía + bombeo recirculación
 - Bombeo a segundo paso de ósmosis inversa
 - Segundo paso de ósmosis inversa
- Post-tratamiento:
 - Dosificación de CO₂
 - Dosificación de hidróxido cálcico
 - Dosificación de hipoclorito sódico
- Estación de bombeo de agua producto.
- Red de distribución de agua producto.
- Emisario de descarga de salmuera y efluentes.

CAPTACIÓN Y BOMBEO DE AGUA DE MAR

Para obtener una producción en fase actual de 97.200 m³/día, se requiere de un caudal de agua de mar de 238.008 m³/día. Dicho caudal es captado mediante toma abierta, gracias a una estructura de captación, y es dirigido a la planta desaladora mediante inmisario submarino.

La estructura de toma se sitúa a unos 1.200 metros de la línea de costa, y se asienta sobre una plataforma rocosa a una profundidad de 14 metros bajo el nivel del mar. La estructura, proyectada en hormigón y con forma cilíndrica, está diseñada para que la velocidad de entrada de agua de mar así como la velocidad en el interior de la estructura, sea inferior a 0,3 m/s. Para ello, la estructura cuenta con un diámetro de 4,6 metros, y tiene una altura total de 6,45 metros.

De la estructura de toma parte un inmisario de captación, proyectado en PEAD (polietileno de alta densidad), de diámetro nominal 1.800 mm y una longitud total de 1.621 metros, que conecta con el edificio de bombeo de agua de mar.

Dispuestas dentro del edificio de bombeo de agua de mar, un total de siete (6+1R) bombas instaladas en paralelo impulsan el agua a través del pretratamiento, hasta la aspiración del bombeo de alta presión del primer paso de ósmosis inversa, sin rotura de carga y por lo tanto sin ningún bombeo intermedio.

Las bombas de agua de mar son centrífugas, de cámara partida axialmente y motor verticalizado, colocadas en aspiración. Cuentan con un caudal nominal unitario de 1.526 m³/h, y son capaces de elevar la presión del agua de mar a 7,1 bar, estando accionadas por un motor de media tensión de 400 kW.

Estas bombas son también las encargadas de proporcionar el caudal necesario para el enjuague de los filtros a presión, tras las operaciones de retrolavado de los mismos.

Como se ha comentado anteriormente, la instalación está preparada para una futura ampliación, por lo que el edificio de bombeo cuenta con espacio para la instalación de dos (2) bombas de agua de mar adicionales, y los colectores comunes están dimensionados con capacidad suficiente para la ampliación

Mejoras en el inmisario de captación

Se propone el cambio de material de la tubería de captación, pasando de un emisario en poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) a un emisario en polietileno de alta densidad (PEAD).

Esta actuación tiene dos objetivos principales:

- Mejora de la durabilidad de la tubería de captación
- Mejora de la calidad del agua de aporte a la desaladora.

El PEAD aporta muchas ventajas, pero especialmente podemos señalar las siguientes:

- Baja rugosidad
- Resistencia a la corrosión
- No translúcido

Las anteriores características del PEAD hacen que sea prácticamente imposible el crecimiento de vida marina e incrustaciones en las paredes de la tubería, lográndose de esta forma una reducción del ensuciamiento de la tubería, y aumentando la vida útil de la misma.

El PEAD presenta una gran resistencia a la agresión microbiana, ya que su superficie no constituye un sustrato adecuado para la proliferación de hongos, bacterias, etc. Además, la escasa rugosidad del material, así como su baja reactividad química y su opacidad, minimizan la formación de cualquier tipo de incrustaciones en las paredes del colector.

Al no haber crecimiento de vida en el interior de la tubería, se logra una mejor calidad en el agua de aporte a la Planta Desaladora, lo que repercute en un pretratamiento más eficiente, y por lo tanto en la optimización en los consumos de la planta.

Mejoras en el bombeo de agua de mar

Para el bombeo de agua de mar a pretratamiento, se proponen los siguientes cambios:

- Instalación de igual número de bombas que líneas de producción. Es decir, se instalarán 6+1R bombas, en vez de 3+1R bombas.
- Instalación de bombas centrífugas de aspiración a vacío, en detrimento de las bombas sumergibles

Esta propuesta ofrece mejoras en los tres conceptos que se persiguen:

- Mejora en flexibilidad
- Optimización eficiencia energética
- Mejora en durabilidad

Desde el punto de vista de la flexibilidad de la instalación, se ha optado, como se ha descrito anteriormente, por instalar el mismo número de bombas de agua de mar que trenes de producción. Esto permite adaptarse a las demandas puntuales, siendo posible la operación con cualquier número de líneas de producción, con el máximo rendimiento.

Inicialmente la planta contaba con 3+1R grupos de bombeo, encargados de aportar el caudal de agua de mar necesario para la operación de 9 líneas de producción. Por lo tanto, cuando la planta esté en operación con un número de líneas que no sea

múltiplo de 3, las bombas de captación estarían trabajando fuera de sus condiciones nominales, o bien mediante ciclos de marcha-paro.

En la propuesta de utilizar bombas centrífugas en aspiración también se ha tenido en cuenta la mejora desde el punto de vista de la durabilidad. El mantener una bomba sumergida permanentemente en agua de mar conlleva un mayor riesgo de corrosiones en la misma, que puede ser especialmente acusado en caso de parada de las bombas.

PRETRATAMIENTO

Para la eliminación de la materia en suspensión, se dispone de una doble etapa de filtros a presión. Está compuesta por cuarenta (40) filtros, distribuidos en veinticuatro (24) filtros en primera etapa y dieciséis (16) en segunda etapa.

Los filtros son cilíndricos, horizontales, de 3.400 mm de diámetro y una longitud total de 14.200 mm. Cada filtro cuenta con una superficie de filtración de 40,80 m².

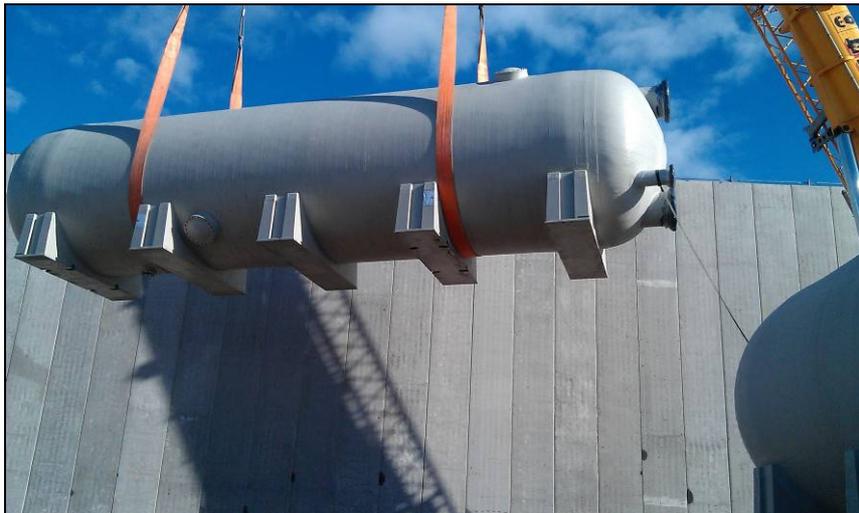


Figura 1. Instalación de uno de los filtros de arena a presión

Tanto los filtros de primera etapa como los de segunda etapa, cuentan con un relleno bicapa, siendo las capas filtrantes arena y antracita.

El retrolavado de los filtros se realiza con aire y agua. El aire lo aportan unas soplantes diseñadas a tal efecto, mientras que el lavado con agua se realiza con la salmuera producida en el proceso de ósmosis inversa, una vez que ésta ha transferido su presión en los sistemas de recuperación de energía. Se minimiza así el consumo de agua de mar, obteniendo cierto ahorro energético en el bombeo de captación de agua de mar y en la dosificación de productos químicos.

Para la posible ampliación de la planta, existe la posibilidad de instalar 8 filtros más en primera etapa y 6 filtros más en segunda etapa.

Mejoras en el pretratamiento

Los cambios propuestos son:

- Sustitución del pretratamiento físico-químico + decantador lamelar por una doble etapa de filtros a presión
- Cambio de material de los filtros a presión, proponiendo el PRFV en detrimento del acero al carbono ebonitado.

Como cambio fundamental en el pretratamiento, se propone eliminar las cámaras de mezcla y floculación, la decantación lamelar, el depósito de agua decantada intermedio y el bombeo intermedio. Estos procesos serán sustituidos por una doble etapa de filtración a presión con lecho bicapa de arena y antracita de diferente granulometría.

La propuesta no deja de lado el objetivo de maximizar la flexibilidad de la planta: el sistema se ha diseñado de forma que, mediante un sistema de válvulas y bypasses, se puede operar con las dos etapas de filtración en serie, con la primera etapa únicamente, o con la segunda etapa únicamente.

Desde el punto de vista de optimización de la planta, la filtración a presión permite eliminar las bombas intermedias, que ya no son necesarias, al impulsarse el agua de mar directamente desde las bombas de captación hasta las bombas de alta presión.

Al eliminar el proceso físico-químico, se eliminan posibles problemas de crecimiento microbiano en las cámaras de mezcla rápida: debido a la fuerte agitación a la que se somete el agua de mar en las cámaras de mezcla, aumenta el contenido en oxígeno disuelto. Si a esto se suman los largos tiempos de retención en las cámaras de floculación y decantación lamelar, nos encontramos en un medio muy favorecido para el crecimiento microbiano.

Por otro lado, la producción en estas plantas no suele ser fija sino variable, dependiendo de la demanda (estacional, fines de semana...); con el sistema común originario, pensado para la producción total, se penalizaba la flexibilidad de la planta.

La siguiente mejora que se plantea consiste un cambio del material de construcción de los filtros de arena y antracita, sustituyéndose los filtros de acero al carbono ebonitados por filtros construidos en PRFV. Las principales ventajas que ofrece el PRFV son:

- La resina viniléster reforzada con fibra de vidrio, no presenta ningún problema de corrosión ni ataque químico en contacto con fluidos agresivos ni con alto contenido en sales. Los filtros de acero al carbono son ebonitados mediante un proceso manual (no es posible hacerlo en autoclave dadas sus grandes

dimensiones) por lo que siempre existe el riesgo de corrosión en zonas donde el ebonitado sea defectuoso, o haya sufrido algún daño.

- Es un material que no tiene problemas ante la presión. En la actualidad existen depósitos a presión en PRFV en otras disciplinas por su corrosión nula.
- Debido a que es un material más manejable que el acero, los periodos de acopio de materiales y fabricación son más cortos. Si además, añadimos que no requieren de tratamiento interior especial, como es el engomado en los depósitos metálicos que precisan de un mes extra para este proceso, hace que los plazos de entrega sean considerablemente menores.

FILTRACION DE SEGURIDAD

Como seguridad, se dispone de una batería de doce (12) filtros de cartuchos, construidos en PRFV. Cada uno de los filtros aloja 252 cartuchos filtrantes, con un poder de corte de 5 micras nominales.

Los equipos de filtración de seguridad (filtros de cartuchos) se han re-dimensionado en función del nuevo tamaño de los bastidores, siguiendo la misma filosofía inicial, es decir, dos filtros de cartucho por línea de ósmosis. Por lo tanto, para las seis líneas de producción se han adoptado doce filtros de cartucho.



Figura 2. Filtros de cartucho

BOMBEO DE ALTA PRESIÓN Y RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

La alimentación de agua de mar a cada uno de los bastidores de ósmosis de primer se realiza mediante un sistema de alta presión, compuesto por un equipo de bombeo de alta presión, un sistema de recuperación de energía, basado en la tecnología de cámaras isobáricas y una bomba de recirculación.

En total se dispone de seis (6) bombas de alta presión, una por cada bastidor de primer paso, siendo bombas centrífugas horizontales, de tipo segmentado. El caudal unitario impulsado por las bombas es de $755 \text{ m}^3/\text{h}$ a una presión de 63 bar, estando accionadas por un motor de media tensión de 1.800 kW de potencia nominal.



Figura 3. Instalación de uno de bombeos de alta presión

Para la recuperación de la energía de la salmuera de rechazo del primer paso, se dispone de un sistema de intercambio de presión basado la tecnología de cámaras isobáricas DWEER. Cada bastidor de primer paso tiene asociados tres (3) dispositivos de recuperación de energía DWEER-1550, de forma que el total de recuperadores instalados es de 18 unidades.



Figura 4. Tren de recuperación de energía

Cada uno de los trenes de recuperadores de energía tiene asociado una bomba de recirculación, encargada de incrementar la presión de salida de los recuperadores hasta la presión necesaria de entrada a membranas. Se dispone por lo tanto de seis (6) bombas de recirculación, centrífugas horizontales de aspiración axial. El caudal unitario impulsado por las bombas es de 755 m³/h a una presión de diferencial de 5,8 bar, estando accionadas por un motor de potencia nominal 200 kW dotado de variador de frecuencia.

BASTIDORES DE PRIMER PASO DE ÓSMOSIS INVERSA

El primer paso de ósmosis inversa se lleva a cabo en seis (6) bastidores de membranas, con una conversión del 47%.

El arreglo de los bastidores de primer paso consiste en una única etapa, y cada bastidor incorpora 233 tubos de presión de 7 membranas cada uno y un rating de 1.000 psi. Dentro del edificio de ósmosis se dispone del espacio para la instalación de dos (2) bastidores de primer paso adicionales.



Figura 5. Bastidores de primer paso

SEGUNDO PASO DE ÓSMOSIS INVERSA

Para cumplir con el valor límite de boro establecido de 0,5 mg/l, es necesario un segundo paso de ósmosis inversa.

Se ha tratado de optimizar el diseño de la planta minimizando la cantidad de permeado de primer paso a introducir en el segundo paso, mediante la utilización de segundos pasos parciales con caudal de alimentación variable y la inyección de sosa en el agua de alimentación al segundo paso.

Se dispone de seis (6) bastidores de segundo paso, que pueden tratar entre el 88% y el 57% del caudal de permeado de primer paso, con una conversión entre el 90% y el 84%, en función de las condiciones de operación.

El arreglo de los bastidores de segundo paso es en dos etapas, de forma que cada bastidor incorpora 72 tubos de presión (7 membranas cada uno), distribuidos en 54 tubos en primera etapa y 18 tubos en segunda etapa. El rating de los tubos de segundo paso es de 300 psi.

La alimentación a los bastidores de segundo paso se realiza mediante seis (6) bombas de segundo paso. Son bombas centrífugas, horizontales, de aspiración axial. El caudal bombeado, dependiendo de las condiciones de operación, será de 429 m³/h a 662 m³/h, con una presión de descarga de 13,1 bar y 8,7 respectivamente. Las bombas están accionadas por un motor de 355 kW de potencia nominal, equipado con variador de frecuencia.

De igual manera que para el primer paso, se dispone de espacio para la instalación de dos (2) bastidores de segundo paso adicionales.

Mejoras en los equipos de alta presión y bastidores de ósmosis

Se proponen las siguientes mejoras:

- Aumento de la capacidad de producción de los bastidores de ósmosis inversa, pasando de 9 líneas de producción a 6 líneas de producción.

Se ha aumentado el tamaño de los bastidores de ósmosis inversa, pasando de nueve líneas de producción de 10.800 m³/día de capacidad unitaria, a seis líneas de producción de 16.200 m³/día cada una. Se ha optado por 6 líneas de producción ya que esta configuración presenta, en el caso de la IDAM del Campo de Dalías, el mejor equilibrio flexibilidad – optimización.

El aumento del tamaño de los bastidores está enfocado a la optimización de la planta. Al aumentar el tamaño de los bastidores, se aumenta el tamaño de los equipos de bombeo principales (bomba de alta presión, bomba Booster y bomba de segundo paso) con lo que se logra una mejora en el rendimiento energético de los mismos.

La principal mejora se obtiene como consecuencia del aumento de rendimiento de la bomba de alta presión, que es con diferencia el mayor consumidor de la planta desaladora. Con el cambio propuesto, se incrementa el rendimiento de las bombas de alta presión de un 82,5% (del diseño inicial) a un 84,6% (al diseño definitivo).

Asimismo, los equipos de limpieza química y de desplazamiento de salmuera se han recalculado para las necesidades derivadas de los nuevos tamaños de bastidor.

Al tener bastidores de ósmosis de mayor tamaño, el tanque de limpieza química requiere un aumento de volumen de 100 m³ a 220 m³.

Este nuevo volumen permite realizar la neutralización de efluentes de limpieza química en el propio tanque, evitando tener que utilizar un tanque independiente para la neutralización de limpiezas químicas. Esta medida, aunque no tiene un gran

impacto, ofrece cierta optimización, ya que se eliminan las bombas de evacuación de efluentes neutralizados, utilizándose las propias bombas de agitación del tanque de limpieza química para el envío de las soluciones neutralizadas al colector de la EDAR de Balerna.

POST-TRATAMIENTO

Al permeado final producido por los bastidores de primer y segundo paso se le realiza un proceso de post-tratamiento, consistente en una remineralización y una etapa de desinfección final, antes de su bombeo y distribución a los puntos de consumo.

La remineralización se realiza mediante la adición de CO₂ e hidróxido cálcico, en forma de agua de cal.

Para la preparación del agua de cal, está prevista la instalación de dos (2) silos de almacenamiento de cal, dos (2) cubas de preparación de lechada, dos (2) saturadores de cal y las correspondientes bombas dosificadoras de lechada de cal.

La desinfección final se realiza en la aspiración de las bombas de agua producto, mediante la dosificación de hipoclorito sódico, aprovechando las infraestructuras de la dosificación de hipoclorito en captación.

ALMACENAMIENTO, BOMBEO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA PRODUCTO

El agua remineralizada se almacena en un depósito de 5.000 metros cúbicos de capacidad, anexo al cual se ubica una estación de bombeo, compuesta por siete (6+1R) bombas de agua producto.

Las bombas de agua producto están equipadas con un motor de 800 kW y cuentan una capacidad de bombeo de 675 m³/h a una presión de descarga de 32 bar.



Figura 6. Bombas de agua producto durante su nivelación

El agua producto se eleva hasta un depósito de regulación de 25.000 m³ de capacidad, cuya base se sitúa a la cota +310 metros sobre el nivel del mar. Desde este depósito, se realiza la distribución a los diferentes puntos de consumo mediante una red de distribución por gravedad.

La conducción de impulsión desde la estación de bombeo hasta el depósito elevado es una tubería de diámetro 1.100 mm construida en acero helicosoldado, con revestimientos interior y exterior de epoxy alimentario y poliuretano, con una longitud de 4,4 km.

La conducción de distribución por gravedad consta de aproximadamente 33 km de tuberías. Se inicia con diámetro 1.100 mm, y va progresivamente disminuyendo hasta diámetro 400 mm en el punto de entrega final; toda la tubería del tramo de gravedad es de la misma calidad que el de la impulsión, salvo el tramo de diámetro 400 mm, que es en fundición.

Mejoras en el bombeo de agua producto

Inicialmente, la solución al bombeo de producto se realiza mediante 3+1R bombas, cada una de ellas con un caudal nominal de 1.350 m³/h y una presión de descarga de 36,35 bar.

Igual que sucede con las bombas de captación, la flexibilidad del bombeo de producto era limitada, al existir 3 bombas para 9 líneas de producción. En este caso, la problemática de operar con un número de líneas de producción que no sea múltiplo de 3 se ve acentuada, ya que las bombas son de una potencia elevada, alimentadas en 6.600V, por lo que el arranque-paro frecuente de las bombas es del todo desaconsejable.

Para solucionar los problemas mencionados, se propone el uso de 6+1R bombas de agua producto.

La propuesta de mejora sigue los mismos principios que los comentados con anterioridad en el bombeo de agua de mar: se obtiene la mejor relación flexibilidad – rendimiento, al tener el mismo número de equipos de bombeo que líneas de producción.

EVACUACIÓN DE SALMUERA Y OTROS EFLUENTES

La salmuera generada en el proceso de ósmosis inversa de la planta desaladora, se evacua por gravedad mediante emisario. Consta de una parte terrestre, construida en PRFV con un diámetro de 1.400 mm y una longitud de 266 metros, y de una parte submarina, construida en PEAD, con un diámetro de 1.400 mm y una longitud de 1.970 metros.

Los últimos 200 metros del emisario corresponden a un tramo difusor, equipando un total de 20 eductores o bocas de descarga.

Mejoras en el emisario de descarga

Se proponen dos cambios para la mejora del emisario de descarga:

- Cambio de material, de PRFV a PEAD
- Aumento del diámetro del emisario, de 1.200 mm a 1.400 mm interior.

Del mismo modo que ocurre con la tubería de captación, en este apartado también se ha variado el material de la tubería, pasando de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) a polietileno de alta densidad (PEAD) con objeto de prevenir el crecimiento de vida marina e incrustaciones en las paredes de la tubería, y mejorar la vida útil de la tubería.

Además, se ha previsto el aumento del diámetro del emisario de descarga, desde un diámetro interior de 1200 mm a un diámetro interior de 1400 mm. Esta modificación tendrá como consecuencia una disminución de la velocidad en la tubería, y por tanto una disminución en las pérdidas de carga.

El aumento de diámetro por lo tanto evita que sea necesario bombear los efluentes de la planta desaladora para su descarga a través del emisario, con lo se elimina un consumidor de energía y optimiza el diseño de la planta.

RESUMEN DE MODIFICACIONES

UNIDAD	DISEÑO INICIAL	DISEÑO FINAL	MEJORAS
Emisario de captación	Material: PRFV	Material: PEAD	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora de la durabilidad de la tubería - Mejora de la calidad del agua bruta
Bombeo de captación	Ud: 3+1R Tipo: sumergible	Ud:6+1R Tipo: aspiración en vacío	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora de la flexibilidad - Optimización rendimiento - Mejora de la durabilidad de los equipos
Emisario de descarga	Material: PRFV Diámetro: 1200 mm	Material: PEAD Diámetro: 1400 mm	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora de la durabilidad de la tubería - Eliminación de problemas en la red de drenajes
Pretratamiento	Físico-químico + decantador lamelar + filtros de arena monocapa en acero al carbono ebonitado	Doble etapa de filtros de arena y antracita en PRFV	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora del proceso de pre-tratamiento - Optimización de velocidades de filtración - Mejora de la durabilidad de los filtros, y eliminación de problemas asociados a la corrosión de filtros
Osmosis inversa	9 líneas de producción de 10.800 m ³ /d	6 líneas de producción de 16.200 m ³ /d	<ul style="list-style-type: none"> - Optimización rendimiento energético - Optimización de los 2º pasos de OI - Mejora en la flexibilidad de la planta
Bombeo de producto	Ud: 3+1R	Ud: 6+1R	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora de la flexibilidad de la planta - Optimización rendimiento

RESULTADOS DE LAS MODIFICACIONES AL DISEÑO ORIGINAL DE LA PLANTA DESALADORA

Mejora de la huella de carbono de la instalación

La huella de carbono es la suma de todos los gases de efecto invernadero (GEI) causados directa o indirectamente por un individuo, organización, producto, evento, etc. El término GEI incluye varios gases (dióxido de carbono, metano, etc.) pero se utiliza un indicador, que es la tonelada de CO₂ equivalente.

En el cálculo de la huella de carbono de una instalación influyen los trabajos de construcción (fabricación de componentes, material primas, transporte de materiales, etc.), de operación y mantenimiento (energía, consumibles, repuestos, reactivos, etc.) y de fin de vida útil (desmantelamiento).

En una planta desaladora de agua de mar por ósmosis inversa, prácticamente la totalidad de su huella de carbono es consecuencia de la energía eléctrica consumida durante su periodo de operación. Por lo tanto, reducir el consumo específico de la desaladora, es reducir en gran medida su huella de carbono.

En el caso de la planta desaladora del Campo de Dalías, la reducción en 4°C de la temperatura mínima de operación tiene un impacto negativo en el consumo energético de la planta, que hay que contrarrestar, para minimizar la huella de carbono. Las modificaciones, a tal respecto, como ya hemos comentado son las siguientes:

- **Modificación del número de bombas de captación de agua de mar.** En su diseño original, la estación de bombeo de agua de mar contaba con cuatro (3+1R) bombas de tipo sumergible. Se ha modificado la modularidad, adoptándose 6+1R bombas, dado que la desaladora cuenta con seis (6) trenes de ósmosis inversa. Las bombas de captación, por lo tanto, siempre se mantendrán dentro de sus condiciones nominales de diseño, trabajando en el punto de rendimiento para el que han sido diseñadas, y manteniendo constante el consumo energético de la planta, independientemente del número de líneas de producción que estén operando. Asimismo, se ha modificado la tipología de las bombas originales, que estaban previstas como bombas sumergibles, pasando a ser bombas en aspiración, de cámara partida, con un mayor rendimiento hidráulico.
- **Aumento de la capacidad de producción unitaria de las líneas de osmosis inversa,** de forma que se adopta un total de seis (6) bastidores de primer paso y seis (6) bastidores de segundo paso, mientras que en el proyecto original se proyectaban un total de nueve (9) bastidores. La capacidad de producción total de la instalación permanece inalterada, pero al aumentar el tamaño de los bastidores, se aumenta el tamaño de los equipos de bombeo principales (bomba de alta presión, bomba de recirculación y bomba de segundo paso). Se logra con ello mejora en el rendimiento energético de los equipos de bombeo, ya que para una velocidad específica dada, el rendimiento de los equipos de bombeo es mayor a mayor caudal. La

principal mejora se obtiene como consecuencia del aumento de rendimiento de la bomba de alta presión, que es con diferencia el mayor consumidor de la planta desaladora. Con el cambio propuesto, se ha conseguido incrementar el rendimiento de las bombas de alta presión de un 82,5% a un 84,6%.

- **Aumento del número de membranas total de la instalación**, incrementando así la superficie de membrana con el objetivo de reducir la presión de alimentación a las mismas. En total, se han introducido aproximadamente un 18% más de membranas, con lo que se ha reducido en 7,6 bar la presión de operación en condiciones de temperatura mínima.
- **Seleccionar un sistema de recuperación de energía de máxima eficiencia**. Se ha adoptado el sistema de intercambio de presión DWEER, por su alta eficiencia y su bajo porcentaje de mezcla de salmuera, lo que va a favor de una menor presión de operación en los bastidores de ósmosis de primer paso.
- **Dotar a las bombas de segundo paso de variadores de frecuencia**, que permiten que la bomba ajuste su caudal y presión a las demandas del proceso, en función de la temperatura de operación y del grado de ensuciamiento de las membranas. Se evita con ello el bombear un caudal excesivo cuando las condiciones de operación son favorables para el rechazo de boro (condiciones de menor temperatura de operación).
- **Modificación del número de bombas de agua producto**. Con la misma filosofía anterior, se ha modificado la modularidad del bombeo de agua producto. Originalmente, el bombeo de agua producto contaba con cuatro (3+1R) bombas, y se han adoptado 6+1R bombas. Con esto se evita que las bombas de agua producto trabajen en puntos para los que no han sido diseñadas (incluso llegar a estar fuera de su curva de funcionamiento) o con frecuentes ciclos de arranque y paro, cuando la planta no trabaje a plena capacidad.

La introducción de las modificaciones anteriores en el diseño provoca consecuentemente una reducción en el consumo de la instalación, que cuando ésta opera a su capacidad nominal de 30 Hm³/año, asciende a un máximo aproximado. 8.960.000 kWh

En términos de huella de carbono, esto se traduce en una reducción de 3.136 ton CO₂ eq/año. Expresado en otros términos, se produce una reducción de la huella de carbono equivalente a las emisiones de 965 coches diesel circulando durante un año, o equivalente a las emisiones anuales de 1.440 hogares españoles, lo cual da una idea de cuan beneficioso es el impacto de las medidas introducidas.

Mejora de la flexibilidad de la instalación

Muchas de las modificaciones anteriormente citadas tienen un impacto positivo en la flexibilidad de la instalación:

- Diseño de la estación de bombeo de agua de mar con un número de bombas igual al número de líneas de producción.
- Diseño de los bastidores de ósmosis de segundo paso con caudal y conversión variable, gracias a variadores de frecuencia en las bombas de segundo paso.
- Diseño de la estación de bombeo de agua producto con un número de bombas igual al número de líneas de producción.

Adicionalmente a lo anterior, cabe citar dos modificaciones:

- Se han independizado los bastidores de segundo paso. En el diseño original, cada bastidor de segundo paso estaba invariablemente a un bastidor de primer paso. En el diseño final, la alimentación a los bastidores de segundo paso se realiza mediante colectores comunes, lo que permite que cualquier bastidor de primer paso opere con cualquier bastidor de segundo paso.
- Se ha dotado a la doble etapa de filtración de un juego de bypasses, que permite que los 40 filtros operen todos en paralelo como una única etapa, o bien trabajar solo con los 24 filtros de la primera etapa, o solo con los 16 filtros de la segunda etapa.

Innovaciones en los materiales de construcción

Como se ha mencionado anteriormente, uno de los objetivos de las modificaciones introducidas es el aumento de la durabilidad de los equipos y componentes de la planta desaladora.

A tal efecto, cabe destacar la utilización de materiales plásticos para la construcción de los filtros a presión. Los cuarenta filtros bicapa están íntegramente contruidos en PRFV. Se elimina así el riesgo de corrosión por agua de mar al que están sujetos los filtros de acero carbono ebonitado, originalmente previstos en el proyecto.



Figura 7. Filtros bicapa a presión contruidos en PRFV

Con la misma filosofía, se han empleado materiales plásticos en la construcción de los recuperadores de energía tipo DWEER. Aunque tradicionalmente los vessels donde se produce en intercambio de presión en estos equipos se construyen en acero superduplex, en la planta desaladora del Campo de Dalías se han suministrado en PRFV.

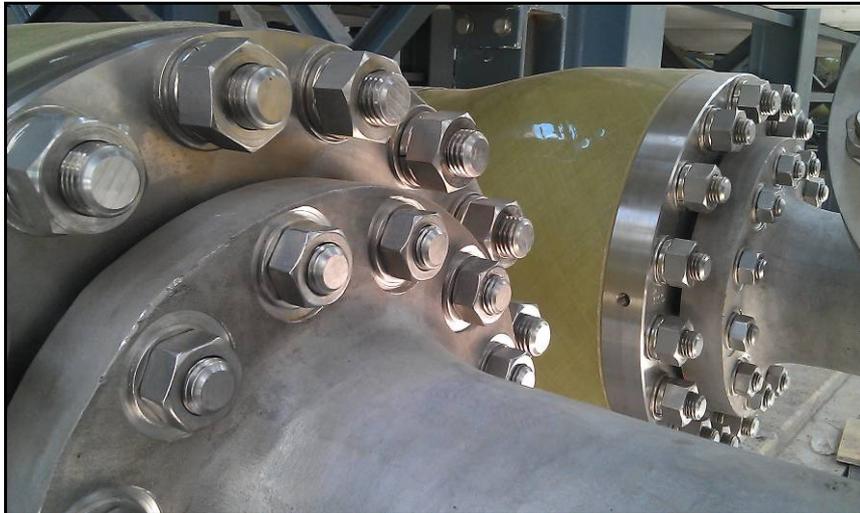


Figura 8. Vessels de los recuperadores DWEER construidos en PRFV

Cabe citar también que el material de los emisarios submarinos actualmente es PEAD, en detrimento de los originalmente previstos en PRFV. Este cambio viene suscitado no solo por la mayor facilidad de instalación de los emisarios en PEAD, sino por las características propias del material: baja rugosidad, alta flexibilidad, unión estanca y permanente por electrofusión, opacidad, etc.

CONCLUSIONES

La planta desaladora del Campo de Dalías se ha diseñado en su fase actual para una capacidad de producción de 30Hm³/año, destinados tanto a riego como a consumo humano.

En el diseño final de la instalación se han introducido una serie de modificaciones y mejoras, derivados en gran medida de los datos reales obtenidos en campo, en especial en lo relativo a las temperaturas de operación.

El rediseño de la planta se ha basado en los objetivos de reducción de la *huella del carbono* y aumento de la *durabilidad* equipos instalados. Para ello se han introducido mejoras que optimizan la eficiencia energética y al mismo tiempo dotan a la instalación de mayor *flexibilidad*. Asimismo, se han introducido innovaciones en los materiales de construcción de los equipos principales, basadas en la utilización de materiales resistentes a la corrosión por agua de mar.

DATOS DE CONTACTO

Persona de contacto: **Oscar Palomino Castejón**
Organización: **Veolia Water Systems Ibérica, S.L.**
Dirección: **C/EI Electrodo, 52. P.I. Santa Ana, 28.529, Rivas, Madrid.**
Teléfono: **+34 91 660 40 00**
Fax: **+34 91 666 77 16**
Email: oscar.palomino@veoliawater.com

Persona de contacto: **Susana López Fuentes**
Organización: **Veolia Water Systems Ibérica, S.L.**
Dirección: **C/EI Electrodo, 52. P.I. Santa Ana, 28.529, Rivas, Madrid.**
Teléfono: **+34 91 660 40 00**
Fax: **+34 91 666 77 16**
Email: susana.lopez@veoliawater.com

Persona de contacto: **Jesús García Arancón**
Organización: **Aguas de las Cuencas Mediterráneas, S.A. (ACUAMED)**
Dirección: **C/Albasanz, 11 – 28037/Madrid.**
Teléfono: **+34 91 423 45 00**
Email: jgarcia@acuamed.es