

## **Descripción de Proyecto y Obra de la Nueva Desaladora de Águilas/Guadalentín.**

**Autores: Buendía Candel, Rafael; Muñoz Manzanera, Eva <sup>2</sup>; Díaz Pérez, Aitor<sup>1</sup>; García Martínez, Angel; <sup>1</sup> SADYT (VALORIZA.); <sup>2</sup> CADAGUA.; <sup>3</sup> ACUAMED.**

### **RESUMEN:**

La “Nueva Desaladora de Águilas/Guadalentín. Ampliación de la Desaladora de Águilas (Planta Desaladora para Riego de Murcia)”, en adelante IDAM Águilas/Guadalentín, forma parte de las diferentes actuaciones acometidas por la Sociedad Estatal AGUAS DE LAS CUENCAS MEDITERRÁNEAS, S.A., en adelante ACUAMED, dentro del Programa AGUA del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Esta ponencia expone las condiciones bajo las que se ha desarrollado esta instalación así como justifica y describe las etapas de tratamiento que la componen.

La producción inicial prevista para dicha IDAM (Instalación Desaladora de Agua de Mar) fue de 60 Hm<sup>3</sup>/año, lo que equivale a una producción de 180.000 m<sup>3</sup>/día. Una vez comenzadas las obras se optó por rediseñar y construir toda la planta para que fuese capaz de albergar una futura ampliación a 70 Hm<sup>3</sup>/año, (212.000 m<sup>3</sup>/día). Con esta premisa se construyó toda la obra civil necesaria. También se realizó la instalación de los colectores, obras de captación, vertido y distribución de agua producto con los diámetros adecuados a tal fin. Adicionalmente, la IDAM ha sido diseñada para ser capaz de producir 17.8 Hm<sup>3</sup>/año adicionales de agua pre-tratada con la cual se alimentará a la actual Desaladora de la Comunidad de Regantes de Águilas, lo que hace que la capacidad total de pre-tratamiento sea de 78 Hm<sup>3</sup>/año (236.000 m<sup>3</sup>/día).

Desde ésta planta se abastecerá de agua al Valle Alto del Guadalentín por medio de una conducción que cruzará la Sierra de la Almenara por el Collado del Mojón, en el Límite de los términos municipales de Águilas, Pulpí y Lorca.

### **INTRODUCCIÓN.**

La Sociedad Estatal ACUAMED tiene por objeto la contratación, construcción, adquisición y explotación, en su caso, de toda clase de obras hidráulicas y, en especial de aquellas obras de interés general en cumplimiento de lo dispuesto en la Ley 11/2005, de 22 de junio. Dentro del ANEXO IV de dicha Ley, “Actuaciones prioritarias y urgentes en las cuencas mediterráneas”, se encuentran las actuaciones que quedan recogidas en el Proyecto de Nueva Desaladora de Águilas/Guadalentín. Ampliación de la Desaladora de Águilas (Planta Desaladora para riego de Murcia). Después del correspondiente proceso administrativo, ACUAMED el día 2 de agosto de 2006 adjudicó el concurso relativo a la Contratación de redacción del Proyecto, ejecución de las obras y operación y mantenimiento de de la citada Desaladora a la Unión Temporal de Empresas formada por SACYR S.A.U., FERROVIAL AGROMÁN S.A., SADYT S.A. y CADAGUA S.A.

El objetivo principal de esta actuación es la generación de nuevos recursos, mediante la desalación con destino a Águilas, Pulpí y al Alto Guadalentín y a su zona de influencia. Para conseguir este objetivo la Ley 11/2005 planteaba dos actuaciones que por estar íntimamente relacionadas se han desarrollado conjuntamente.

- Ampliación de la desaladora de la C.R. de Águilas ya que su sistema de captación no tiene capacidad para aportar el agua bruta necesaria para poner la planta a pleno rendimiento.
- Nueva desaladora de Águilas/Guadalentín.

Inicialmente la producción prevista para la IDAM fue de 60 hm<sup>3</sup>/año. Una vez comenzadas las obras parte de los usuarios con los que ya se habían firmado los correspondientes convenios, ampliaron sus solicitudes hasta justificar una futura ampliación a 70 hm<sup>3</sup>/año, (212.000 m<sup>3</sup>/día). Esta circunstancia obligó a rediseñar y construir la planta de forma que pudiera albergar una futura ampliación. Con esta premisa se está construyendo toda la obra civil necesaria en la planta una vez rediseñada y se trabaja en las obras de captación, vertido y red de distribución de agua producto que también han sido objeto de modificaciones para adaptarse a la nueva capacidad de producción. Adicionalmente, la IDAM ha sido diseñada para ser capaz de producir 17.8 hm<sup>3</sup>/año adicionales de agua pre-tratada con la cual se alimentará a la actual Desaladora de la Comunidad de Regantes de Águilas, lo que hace que la capacidad total de pre-tratamiento sea de 78. hm<sup>3</sup>/año.

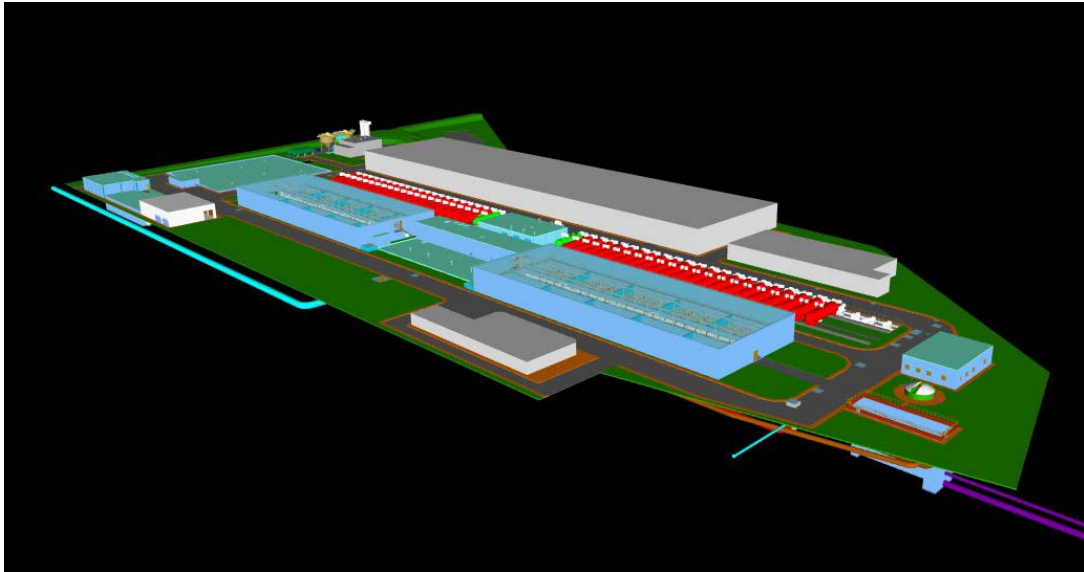
Desde esta planta se abastecerá de agua para riego a los cultivos de Águilas, Pulpí y del Valle del Alto Guadalentín. Además se dotará de agua para abastecimiento a la Mancomunidad de los Canales del Taibilla y al Ayuntamiento de Pulpí. La distribución se hará por medio de 3 conducciones, una para suministrar a la Comunidad de Regantes de Águilas, otra para la Mancomunidad de los Canales del Taibilla y la última y de mayor entidad que suministra a las Comunidades de Regantes de Pulpí, Puerto Lumbreras y Lorca después de cruzar la Sierra de la Almenara por el collado del Mojón, en el límite de los términos municipales de Águilas, Pulpí y Lorca. La red de distribución finaliza con la construcción de una nueva balsa de regulación situada en el paraje del Cerro Colorado, en Lorca.

La ampliación de la Desaladora de Águilas consiste en dotarla de un nuevo aporte de agua de mar pretratada procedente de las instalaciones de la nueva planta proyectada, de éste modo la captación bombeo de agua de mar pretratamiento y bombeo de baja presión han sido diseñados para tratar los caudales necesarios para abastecer a ambas instalaciones.

El diseño de la IDAM en cuanto a número de equipos instalados para la producción de 60 Hm<sup>3</sup>/año es el siguiente:

- Captación: Toma abierta de agua de mar ubicada a la batimétrica -17.5 m. Conducción DN 2200 hasta la cántara; Bombeo del agua de mar y conducción hasta la planta.
- Pretratamientos Químicos: Dosificación de Hipoclorito (En cántara y planta); Dosificación de Coagulante (En cántara); Dosificación de Ácido Sulfúrico (En cántara); Dosificación de Floculante (En planta); Dosificación de Hidróxido Sódico (En planta); Dosificación de Antiincrustante (En planta), Dosificación de Bisulfito Sódico (En planta).
- Pretratamientos Físicos: Coagulación en línea, Floculación sobre Filtros de gravedad, Filtración por gravedad (20 uds), Filtración presurizada (44 uds), filtración mediante cartuchos (24 uds).
- Ósmosis Inversa: Consta de 12 bastidores de ósmosis inversa de primer paso y cinco bastidores de segundo paso o afino compuestos de doble etapa. La utilidad del segundo paso de ósmosis es conseguir un agua producto después de blending con el ión Boro en concentración inferior a 0.5 ppm; 12 trenes de alta presión con sus respectivos sistemas de recuperación de energía tipo Dweer para el primer paso de ósmosis; 5 trenes de alta presión para el segundo paso de ósmosis.
- Post-tratamiento: Depósito de Blending donde se mezclarán las aguas procedentes del primer y segundo paso en la proporción diseñada; remineralización y cloración del 100 % del agua producida.
- Distribución: La planta consta con una instalación de bombeo a pié de planta para la distribución del agua producida. En dicha instalación se encuentran dos bombeos para entregar el agua a sendos clientes así como un tercer bombeo que elevará el agua hasta un segundo escalón desde donde se distribuirá el agua a cinco usuarios diferentes.

- Vertido de Salmuera: Se realizará mediante una conducción que llevará la salmuera hasta la batimétrica -32 m y allí se realizará la difusión mediante las correspondientes boquillas difusoras.



**Figura 1**Maqueta 3D de la IDAM Águilas/Guadalestín.

La IDAM Águilas/Guadalestín se encuentra actualmente en construcción bajo el diseño relacionado anteriormente, y está prevista la finalización de las obras a lo largo del primer trimestre de 2009.

## **DATOS DE PARTIDA Y PROCESOS ADOPTADOS.**

### **Caracterización de las Aguas de Porte y Calidad de Agua Producto y Vertido de Salmuera.**

Durante la fase de redacción del Proyecto constructivo así como a lo largo de la ejecución de la obra durante los años 2006 y 2007 se han realizado diferentes campañas de análisis de agua de mar en el punto definido de captación, así como en diferentes puntos adyacentes. También se han tomado y analizado muestras a diferentes profundidades. Conjugando éstas tres variables (Tiempo, coordenadas y profundidad) es posible caracterizar las aguas a tratar y estudiar su evolución a lo largo del tiempo con el fin de optimizar los tratamientos posteriores a los que será sometida el agua.

**Tabla 1 Resumen de campañas analíticas del agua de mar de aporte a la IDAM  
Águilas/Guadalentín.**

Coordenadas UTM (X)	624.586	625.489	625.489	625.574	625.574
Coordenadas UTM (Y)	4.139.647	4.140.009	4.140.009	4.140.169	4.140.169
PARÁMETROS	OTOÑO 06	INVIERNO 06	INVIERNO 06	PRIMAVERA 07	VERANO 07
TEMPERATURA DEL AGUA (°C)	23,6	15,6	15,5	21,20	21,20
CONDUCTIVIDAD A 20 °C (±S/cm)	50.916,67	49.500,00	49.820,00	51.380,00	50.780,00
pH (ud. De pH)	8,2	8,1	8,1	8,2	8,2
CLORUROS (mg/l)	22.911,47	22.211,97	21.813,31	20.758,70	20.353,42
SULFATOS (mg/l)	2905,83	2819,48	2.795,88	3.044,14	2.971,94
BICARBONATOS (mg/l)	160,04	159,51	159,51	155,18	155,98
CARBONATOS (mg/l)	2,50	5,00	5,00	5,00	5,00
NITRATOS (mg/l)	0,50	1,00	1,00	5,00	5,00
SODIO (mg/l)	10.925,92	12.494,70	12.246,63	11.555,40	11.333,20
MAGNESIO (mg/l)	1.338,13	1.299,46	1.302,89	1.444,24	1.423,88
CALCIO (mg/l)	718,64	466,43	457,50	468,20	462,02
POTASIO (mg/l)	477,21	475,12	464,51	446,00	454,00
NITRITOS (mg/l)	0,02	0,04	0,04	0,01	0,01
AMONIO (mg/l)	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
BORO (mg/l)	3,79	3,45	3,51	4,92	4,90
FOSFATO (mg/l P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,08	0,05	0,05	5,00	5,00
ANHÍDRIDO SILÍCICO (mg/l)	0,19	0,20	0,20	1,10	1,10
HIERRO (mg/l)	0,28	0,40	0,39	0,02	0,02
MANGANESO (mg/l)	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02
TURBIDEZ (U.N.F.)	1,52	1,00	1,00	0,87	0,98
FLUORUROS (mg/l)	0,78	0,49	0,50	0,89	187,32
CARBONO ORGÁNICO TOTAL (mg/l)	1,52	0,74	1,05	1,06	1,04
D.Q.O. (mg/l de O <sub>2</sub> )	45,17	10,00	10,00	75,00	75,00
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN (mg/l)	8,63	2,42	2,70	2,60	3,40
ACEITES Y GRASA (mg/l)	9,28	10,00	10,00	0,07	0,07
DUREZA TOTAL (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	6.863,07	6.515,85	6.507,68	7.106,40	7.007,40
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS (mg/l)	39.148,2	39.556,9	39.290,0	40.072,00	39.520,00
CO <sub>2</sub> libre (mg/l)	1,74	2,02	1,98	3,40	3,32
ÍNDICE DE LANGELIER	1,8492	1,2716	1,2918	1,1660	1,1740
ÍNDICE DE RYZNAR	4,5083	5,5746	5,5423	4,6320	4,6440
ÍNDICE DE STIFF & DAVIS	-6,8985			0,3140	0,3140
COLONIAS A 22°C (UFC en 1 ml)	1592	217	106	91	185
BACTERIAS COLIFORMES (UFC en 100 ml)	2	0	0	69	79
BARIO (mg/l)	0,1471	0,2280	0,1705	0,02	0,02
ESTRONCIO (mg/l)	4,7377	4,5196	4,4861	10,9200	10,7000
PLOMO (mg/l)	0,1013	0,0361	0,0273	0,0200	0,0200
MERCURIO (mg/l)	0,0009	0,0005	0,0005	0,1000	0,1000
COBRE (mg/l)	0,0086	0,0010	0,0010	0,0200	0,0200
ZINC (mg/l)	0,1968	0,1518	0,1462	0,0200	0,0200

De los datos mostrados en la Tabla 1, se puede concluir lo siguiente:

- La Temperatura del agua se encuentra en el rango entre los 15.5 °C en invierno y los 23.6 °C en verano.
- La Conductividad se encuentra en el orden de los 50.000 µS/Cm con un valor punta de 54.000 µS/Cm
- El pH del agua de mar está entre 8.1 y 8.2.
- El boro tiene un valor de concentración medio de 4.1 ppm, encontrándose valores máximos de 5.1 ppm.
- La turbidez del agua está en el orden de 1 NTU con un valor máximo de 3.29 NTU. Éste último valor fue tomado durante la campaña de otoño de 2006 dos días después de producirse lluvias tormentosas en la zona.
- Los sólidos en suspensión tienen un valor medio de 3.95 mg/l, alcanzándose un valor punta de 8.8 mg/l en la misma fecha en que se produjo el episodio de alta turbidez.
- Los sólidos totales disueltos del agua tienen un valor medio de 39.500 mg/l.

El agua desalada que producirá la Nueva Desaladora de Águilas se destinará al abastecimiento urbano y a uso agrícola, por tanto la calidad que ésta ha de cumplir con los parámetros marcados en el RD 140/2003. Adicionalmente al cumplimiento de éstos parámetros el Pliego de Prescripciones Técnicas de la licitación exigía que se cumpliera con un máximo de Boro en el producto de 0.5 ppm.

De acuerdo a lo estipulado en la Declaración de Impacto Ambiental (DIA), las características del vertido y su dispersión, han sido calculadas en el campo cercano a partir del sistema CORMIX, CORMIX-2 para vertidos con un sistema difusor multipuesto, teniendo en cuenta los valores de calidad del agua y de dinámica del litoral del medio receptor, caudal y concentraciones del efluente.

### **Procesos Adoptados.**

En base a los datos anteriores se optó por diseñar la siguiente línea de tratamiento:

- Captación Abierta.
- Bombeo de agua de mar desde la cántara hasta la planta.
- Dosificación de Ácido sulfúrico para reducir el pH si fuese necesario.
- Dosificación de Hipoclorito Sódico como agente desinfectante para evitar el crecimiento de moluscos y otras formas de vida marina sobre las paredes interiores a las conducción de captación.
- Dosificación de Agente Coagulante.
- Coagulación en línea. Se realizará a lo largo de la conducción que une la Cántara de captación con las instalaciones de la desaladora.
- Dosificación de Agente Floculante.
- Floculación sobre el lecho de material filtrante de la primera etapa de filtración.
- Filtración abierta por gravedad.
- Bombeo de baja presión.
- Filtración presurizada.
- Bombeo de salmuera para lavado de filtros por gravedad y presurizados.
- Dosificación de Dispersante como Inhibidor de Incrustaciones
- Dosificación de Bisulfito Sódico como agente reductor.
- Dosificación de Sosa Cáustica para elevar el pH.
- Filtración sobre cartuchos.
- Bombeo de alta presión.
- Primer paso de Ósmosis Inversa y Depósito de Blending.
- Recuperación de energía.
- Segundo paso de Ósmosis Inversa.
- Post-Tratamiento. Remineralización mediante saturadores de cal y CO<sub>2</sub> y dosificación de Hipoclorito Sódico como agente desinfectante.
- Bombeo de agua producto.
- Vertido y difusión de la salmuera.

### **DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.**

Inicialmente las instalaciones diseñadas fueron para una capacidad de producción máxima de 60 Hm<sup>3</sup>/año (180.000 m<sup>3</sup>/día). Una vez avanzado el diseño e incluso las obras, se produjo un incremento en la demanda de agua lo que se tradujo en un aumento de la capacidad de producción de la planta, pasando a ser diseñada con la infraestructura, en cuanto a obras civiles y colectores, necesaria para una producción de 70 Hm<sup>3</sup>/año (212.000 m<sup>3</sup>/día).

#### **Captación Abierta.**

El método de captación proyectado está compuesto por un cajón de hormigón armado de planta rectangular de 4.9 x 4.4 m de dimensiones exteriores y una altura de 7 metros. La parte superior de la torre de toma esta formada por una estructura de PRFV y tiene una altura de 1 metro, quedando por debajo del nivel mínimo de agua previsible, garantizándose que la toma está permanentemente sumergida.

La conducción de toma de agua consta en su tramo marítimo de una tubería de PEAD de 2200 mm de diámetro exterior y una longitud de 834.44m. En el tramo terrestre se realiza un cambio de material a PRFV de diámetro DN 2200 y una longitud de 375m. Interiormente a ésta se dispone una tubería de polietileno DN180 para dosificación de hipoclorito.

### **Bombeo de Agua de Mar desde la Cántara hasta la Planta.**

El inmisario submarino conduce las aguas captadas hasta la cántara de impulsión. Ésta es una estructura de hormigón armado cuya misión principal es la de asegurar la correcta alimentación de las bombas a instalar, la de proteger los equipos instalados frente a los transitorios que puedan producirse en la impulsión, la de retener los sólidos de mayor tamaño y la de permitir el corte de las conducciones de impulsión.

En el interior de la cántara se dispondrán 6+1 bombas centrífugas sumergibles de caudal unitario 3399 m<sup>3</sup>/h y una presión de descarga de 48 m.c.a. Con éstas 6+1 bombas se alimenta a la planta desaladora con el agua necesaria para una producción de 60 Hm<sup>3</sup>/año. Adicionalmente se dispone de un espacio para la ubicación de una bomba mas similar a las anteriores lo cual permitiría una producción de 70 Hm<sup>3</sup>/año. Para alimentar el agua necesaria que se ha de pretratar a la actual Desaladora de la Comunidad de Regantes se dispone de una bomba adicional de 2223 m<sup>3</sup>/h de caudal y una presión de descarga de 48 m.c.a.

La conducción de impulsión es una tubería de 2000 mm de diámetro que parte de la cántara de impulsión u conecta con la entrada a las instalaciones de la nueva desaladora. La longitud total de dicha conducción es de 3262.52 m

### **Dosificación de Ácido Sulfúrico.**

La regulación del pH del agua de aporte a la planta desaladora permite, en los casos en los que se requiera, el control sobre las incrustaciones de distintos compuestos y el aumento de la eficacia de la dosificación de Hipoclorito sódico. Para éste fin se ha diseñado un sistema de dosificación de ácido sulfúrico compuesto por 6+1 bombas dosificadoras de un caudal de 150 l/h y un depósito de ácido sulfúrico de 26 m<sup>3</sup> ubicado en la cántara de captación. Se dispone de un espacio para la ubicación de una bomba adicional cuando se realice la futura ampliación de la planta (1F)de 60 Hm<sup>3</sup>/año a 70 Hm<sup>3</sup>/año

### **Dosificación de Hipoclorito Sódico.**

Con el fin de reducir la actividad biológica presente en el agua de mar se incluye una dosificación de hipoclorito sódico líquido que se realizará en el colector general de alimentación a la planta desaladora y distintos puntos a lo largo del proceso. El sistema de dosificación ha sido diseñado para permitir inyecciones de hipoclorito sódico, ya sea en forma continua o bien en dosis de choque. Las bombas necesarias son 6+1 de 127 l/h mas una adicional correspondiente a la futura ampliación. Los depositos diseñados para el almacenamiento del Hipoclorito Sódico son dos unidades de 45 m<sup>3</sup> y serán ubicados en la cántara de captación.

### **Dosificación de Agente Coagulante y Coagulación en Línea.**

La dosificación de Agente Coagulante se realizará por medio de 6+1 bombas mas una adicional correspondiente a la ampliación, cuyo caudal es de 85 l/h . Los depósitos de almacenamiento serán 2 x 35 m<sup>3</sup>. Se ubicará en la Cántara de captación y el punto de dosificación será en las impulsiones de las bombas, de forma que se aproveche el régimen turbulento del agua y la longitud de la tubería para que se produzca la desestabilización de los iones a lo largo del

recorrido de la misma. Con esto se consigue realizar la coagulación en línea sin necesidad de tener que instalar unas cámaras de coagulación a la entrada de la planta.

### **Dosificación de Agente Floculante y Floculación sobre los Lechos de Filtración por Gravedad.**

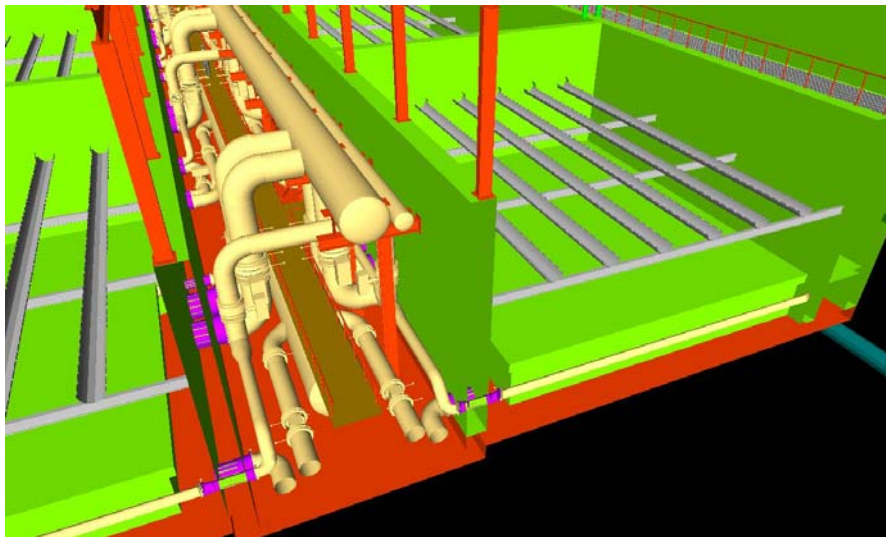
Se ha diseñado la instalación de un equipo de preparación de polielectrolito, así como las bombas de tornillo helicoidal necesarias. La dosificación se realizará a través de 6+1 bombas mas una adicional correspondiente a la ampliación. El caudal de las mismas es de 600 l/h.

El primer tratamiento físico a que es sometida el agua de mar en la planta es una etapa de filtración por gravedad. Dada la baja velocidad a la que se realiza dicha filtración y al volumen de agua existente sobre los lechos filtrantes, es posible producir el fenómeno de floculación sobre los lechos filtrantes sin necesidad de la instalación de cámaras de floculación.

### **Filtración por Gravedad.**

Para conseguir una eficaz eliminación de los sólidos en suspensión presentes en el agua de mar, se emplea una primera etapa de filtración abierta sobre lecho de antracita (0,8m) arena (0,4m) y grava soporte (0.1m).

La velocidad de diseño de los filtros es inferior a 5 m/h en el caso de producción de 60 Hm<sup>3</sup>, cuando la planta esté ampliada para producir 70 Hm<sup>3</sup> dicha velocidad será inferior a 6 m/h. La solución diseñada consta de dos líneas, cada una de ellas con 10 filtros de dimensiones de lecho filtrante 17 x 11.5 lo que da un área unitaria de 195,5m.



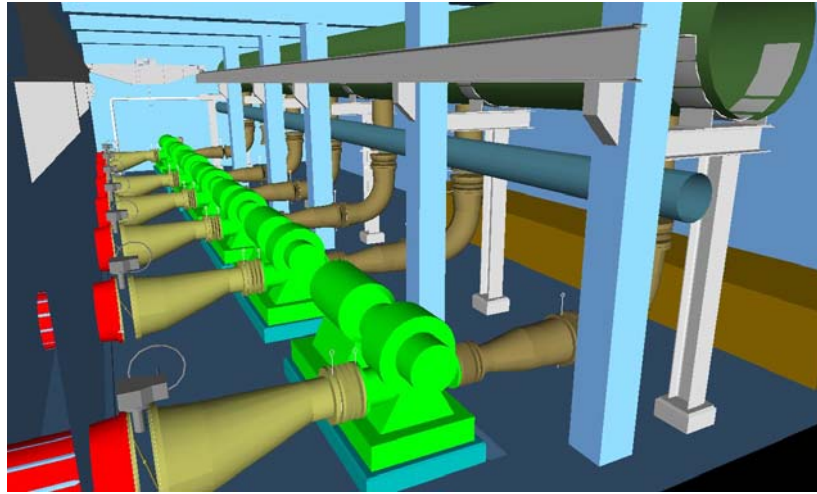
**Figura 2 Representación 3D de filtración por gravedad.**

### **Bombeo de Baja Presión.**

Una vez el agua ha pasado la etapa de filtración gravitatoria, ésta es conducida al Deposito de Baja presión, de donde aspiran las bombas que alimentan a la segunda etapa de filtración y hacen que el agua llegue con la presión necesaria a la aspiración de los grupos de alta presión así como a los correspondientes recuperadores de energía, pasando, eso sí, por la etapa de filtración de cartuchos previamente.

El bombeo está compuesto por un grupo de 12+1 bombas centrífugas horizontales (14+1 en la ampliación). La capacidad de bombeo de cada una de ellas, es de 1761 m<sup>3</sup>/h a 7 bar. El

accionamiento de éstas bombas se realizará mediante variadores de frecuencia que permitirán ajustar las presiones y caudales a las necesidades del proceso de Osmosis Inversa posterior.



**Figura 3**Maqueta 3D de bombeo de baja presión.

### **Filtración Presurizada.**

Para conseguir una eficaz eliminación de los sólidos en suspensión presentes en el agua de mar, se emplea una segunda etapa de filtración.

Los lechos filtrantes diseñados consisten en una capa de arena sílicea (0,65m) seguida de granate (0,25m) y posteriormente grava soporte (0,2m).

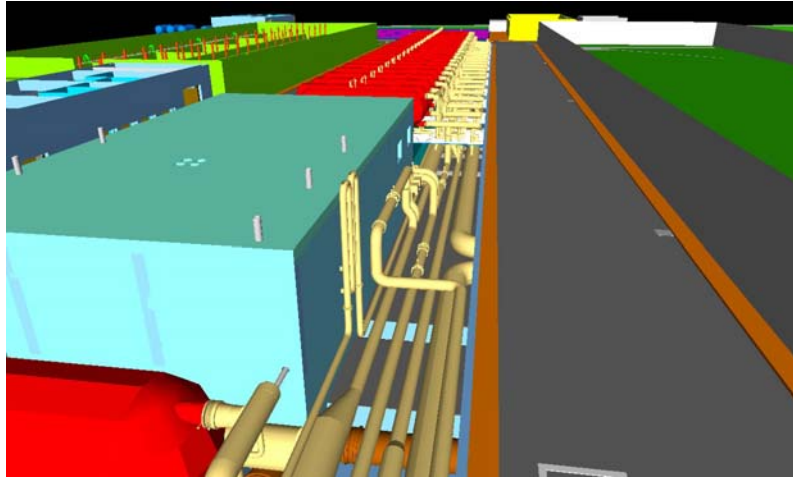
La velocidad de filtración utilizada fue de 8 m/h como valor máximo. Las dimensiones de cada filtro son 13 m de longitud cilíndrica y 3,6 m de diámetro. Para coseguir la citada velocidad con los filtros diseñados es necesario instalar 44 unidades para la producción de 60 Hm<sup>3</sup>/año y 50 en el caso de futura ampliación. El material de construcción de los filtros ha sido Ácero al Carbono de 14mm de espesor con un recubrimiento interior de ebonita apta para uso alimenticio.



**Fotografía 1**Filtros presurizados de la IDAM Águilas/Guadalentín.

Como experiencia piloto se han sustituido dos de ellos por filtros construidos en PRFV de 3,4 m de diámetro y 13 m de longitud cilíndrica.





**Figura 4**Maqueta 3D de canal de conducciones de filtración presurizada.

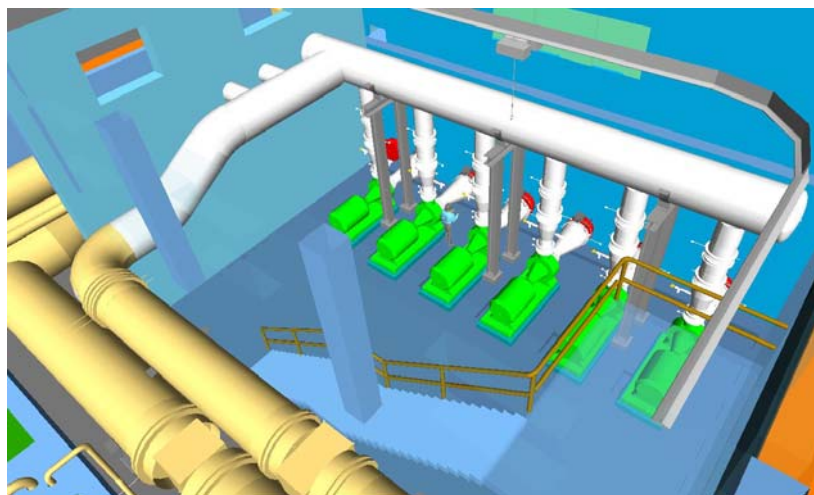
### **Bombeo de Salmuera para Limpieza de filtros.**

La limpieza de filtros de gravedad y presurizados se realizará de manera automática con salmuera a contracorriente, aire a contracorriente y agua de mar a equicorriente para proceder al aclarado.

La salmuera procedente de la Osmosis Inversa se almacena en un depósito del cual aspiran las bombas de lavado de filtros (5+1). La tipología de éstas bombas es centrífuga horizontal y cada una de ellas es capaz de bombear 2200 m<sup>3</sup>/h a 2 bar.

La instalación diseñada permite realizar la limpieza tanto de filtros de gravedad como de los presurizados, para ello se han instalado variadores de frecuencia en las bombas, caudalímetros en las líneas de alimentación a cada uno de los sistemas de filtración y válvulas de control de caudal.

Adicionalmente al sistema de bombeo también se han instalado grupos motosoplantes para producción de aire para el lavado a contracorriente de los filtros. La utilización de aire para las labores de limpieza permite reducir el consumo de agua de lavado y mejorar el resultado final. Para la limpieza de los filtros gravitatorios se han instalado 1+1 soplantes con cabina de insonorización de 11850 Nm<sup>3</sup>/h a una presión de 0,6 bar. Para la limpieza de los filtros presurizados se han instalado 2+1 soplantes con cabina de insonorización de 3110 m<sup>3</sup>/h a una presión de 0,6 bar.



**Figura 5**Maqueta 3D del bombeo de salmuera para limpieza de filtros.

### **Dosificación de Dispersante.**

El uso de Dispersantes en las Instalaciones de Ósmosis de Agua de Mar es algo muy común ya que dada la alta conversión a la que se trabaja y al elevado pH, el agua de mar presente un índice Staff & Davis positivo, lo que indica que puede haber precipitación de diferentes sales sobre la superficie de las membranas. Se ha previsto la dosificación de Dispersante utilizando para ello 6 + 1 bombas dosificadoras de Caudal máximo 5 l/h para el primer paso de O.I. Para el Segundo Paso se han instalado 4 + 1 bombas dosificadoras de Caudal Máximo 2.5 l. En el momento de ejecutar las obras de ampliación de la instalación a 70 Hm<sup>3</sup>/año el número de bombas dosificadoras será incrementado en una para el primer paso y una para el segundo.

### **Dosificación de Bisulfito Sódico.**

El cloro libre existente en el agua pretratada debe eliminarse antes de su entrada en los bastidores de ósmosis, ya que como agente oxidante produce un deterioro irreversible de las membranas de poliamida. A tal efecto se prevé la dosificación de un agente reductor en dosis superiores a la estequiométrica para la eliminación del cloro residual previsto. Para ello han sido instaladas 6 + 1 bombas dosificadoras de Bisulfito sódico cada una de ellas capaz de bombear 750 l/h.

### **Dosificación de Sosa Cáustica.**

El uso de Sosa Cáustica se debe a la necesidad de aumentar el pH del agua de aporte a Ósmosis Inversa para que el ión Boro que se encuentra en forma de Ácido Bórico ( B(OH)<sub>3</sub> ) permeable en la Membrana de O.I y sin carga iónica cambie de estado a valores altos de pH y se encuentre en el medio en la forma borato B(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup> con carga negativa y no permeable a la Membrana de O.I. Para ello se ha previsto instalar 6 + 1 bombas dosificadoras de 150 l/h de caudal cada una en primer paso y 4 + 1 unidades de dosificación de 45 l/h de caudal en segundo paso.

### **Filtración sobre Cartuchos.**

El agua tratada, antes de ser enviada a los módulos de ósmosis inversa, se filtra sobre cartuchos de polipropileno bobinado con un poder de corte de 5 micras (20 micras absolutas). Con esto se consigue, no solo un afino del agua a tratar sino también una seguridad en caso de pérdida de material filtrante en las etapas de filtración previas.

Se instalaran 24 filtros con la posibilidad de ampliar 4 adicionales cuando la producción de la planta sea de 70 Hm<sup>3</sup>/año. Cada filtro albergará 235 unidades de cartuchos.



**Fotografía 2 Filtros de cartuchos.**

## **Bombeo de Alta Presión.**

El Bombeo de alta presión está dividido en 12 sistemas similares e independientes, uno por bastidor de O.I. de primer paso. Cada uno de éstos sistemas está compuesto de una bomba aceleradora de alta presión y una bomba de alta presión, de forma que la bomba aceleradora de alta presión entrega en todo momento el agua de mar en la aspiración de la bomba de alta presión con la precisión necesaria de acuerdo a los requerimientos del proceso de O.I. Cuando la producción de la planta pase a ser de 70 Hm<sup>3</sup>/año, el número de bastidores y por tanto de grupos de bombeo de alta presión pasará de 12 a 14 unidades.

De esta forma, mediante la creación de un grupo de bombeo de alta presión formado por dos bombas en serie, estando una de ellas dotada de variador de frecuencia (la bomba aceleradora), se consigue una continua optimización del consumo energético específico de la instalación.

El caudal que aporta cada una de las bombas de alta presión es de 700 m<sup>3</sup>/h y la presión de descarga es de 615 m.c.a. En cuanto a las bombas aceleradoras cada una de ellas proporciona 700 m<sup>3</sup>/h de caudal a una presión que puede variar desde 30 hasta 120 m.c.a.

## **Primer Paso de Ósmosis Inversa y Depósito de Blending.**

Se opta como conversión de diseño el 45% para el primer paso del proceso de Ósmosis Inversa, esto supone una producción de permeado con concentración de boro inferior a 1 ppm, tal y como exige el R.D. 140/2003.

Los bastidores se disponen en dos líneas que trabajan de forma paralela, contando así cada línea con 6 bastidores, 7 para la producción futura de 70 Hm<sup>3</sup>/año.

Se ha adoptado una configuración de bastidor en simple etapa con 190 tubos de presión, capaces de contener cada uno en su interior 7 membranas de O.I de agua de mar.

El permeado de los bastidores de primer paso se recogerá en un depósito de 750 m<sup>3</sup> de capacidad, desde el cual se alimentará al 2º paso con una parte correspondiente al 60 % de la producción de los bastidores de primer paso. El 40 % restante se mezclará con el permeado de la instalación de 2º paso en una cámara contigua a éste depósito y de 1250 m<sup>3</sup>. Adicionalmente se tomará el agua del depósito de primer paso para realizar las operaciones de desplazamiento de agua de mar y limpieza química de membranas, así como para la preparación de reactivos y servicios auxiliares de la IDAM.



**Fotografía 3 Vista general de Bastidores de Ósmosis Inversa.**

### **Recuperación de Energía.**

El sistema de recuperación de energía seleccionado para ésta instalación son los DWEER-CALDER. El número de cámaras por línea serán de 3, resultando así un número total de cámaras recuperadoras de energía de 36 para la producción de 60 Hm<sup>3</sup>/año, pasando a ser 42 en caso de ampliación a 70 Hm<sup>3</sup>/año.

El sistema ha sido dotado de las correspondientes bombas de recirculación o booster, una por sistema de recuperación, cada una de ellas de un caudal de 855 m<sup>3</sup>/h y una presión de 47 m.c.a.

### **Segundo Paso de Ósmosis Inversa.**

El 60 % del permeado producido será conducido a un segundo paso parcial que servirá como afino de boro con una conversión del 90 %. De éste modo y tras la mezcla con el 40% restante, se asegura una concentración de boro muy inferior a 0,5 ppm para el rango de temperaturas de diseño. El rechazo generado en este segundo paso será recirculado y mezclado con el agua de aporte a proceso, consiguiendo de éste modo una conversión global del 43,5%.

Al igual que en el caso de la instalación de primer paso, los 5 bastidores que componen la instalación de 2º paso se disponen en dos líneas, de 3 y dos bastidores, pasando a ser dos líneas de 3 bastidores cada una en el momento en que se amplíe la planta.

La configuración del bastidor se realiza en dos etapas, instalándose para ello un total de 118 tubos de presión por bastidor, repartidos en 88 y 30 tubos para la primera y segunda etapa, respectivamente.

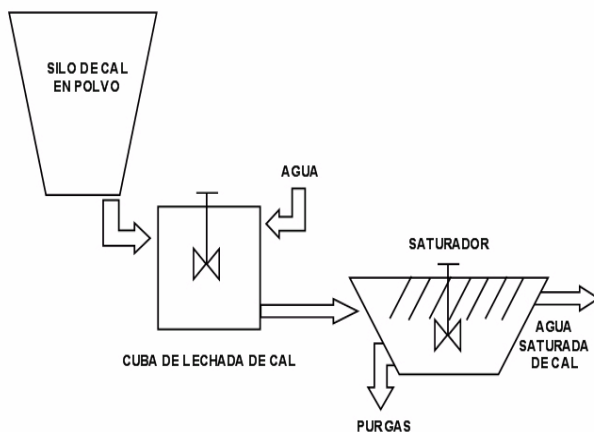
### **Post-tratamiento.**

La línea de post-tratamiento seleccionada para ésta instalación consiste remineralización mediante dosificación de agua saturada en cal y dosificación de Hipoclorito Sódico como agente desinfectante en el agua producto.

La remineralización mediante dosificación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y Cal ( Ca(OH)<sub>2</sub> ) es una de las técnicas que actualmente más se emplea, por la facilidad del control, precisión en la dosificación y la estabilidad del pH del agua resultante.

El diseño propuesto consiste en la inyección de CO<sub>2</sub> y dosificación de hidróxido cálcico (Ca(OH)<sub>2</sub>) al agua perneada.

El hidróxido cálcico es un sólido, por lo que es necesario disolverlo antes de proceder a su dosificación. Un esquema del proceso se muestra a continuación:



**Figura 6** Esquema de la instalación de remineralización mediante saturador de cal.

El Ca(OH)<sub>2</sub>, que se encuentra en 2 silos de 100 m<sup>3</sup> de capacidad cada uno en forma de polvo, se dosifica automáticamente en unas cubas con agua donde se prepara una lechada de cal al 5%. Para reducir los efectos de turbidez de la lechada al dosificarla al agua producto, ésta operación se realiza utilizando para ello los saturadores de cal, 2 unidades de 9,5 m de diámetro útil.

La disolución de agua saturada se dosifica en las cámaras de postratamiento donde, junto con el correspondiente CO<sub>2</sub>, se produce la reacción de remineralización. Transcurrido el tiempo necesario el agua se encuentra perfectamente equilibrada, sin ningún tipo de turbidez y con los minerales adecuados para su consumo.

La dosificación de hipoclorito sódico se realiza a través de 7+1 bombas dosificadoras de 147 l/h.

## DISTRIBUCIÓN DE AGUA PRODUCTO

Desde el propio depósito de agua producto de la desaladora, el agua es impulsada a Salinares, M.C.T y el Valle de Guadalentín. Para ello se dispone de una estación de bombeo en la planta la cual realiza las siguientes impulsiones:

- **Impulsión a Salinares (Primer escalón de bombeo):**

Cuatro bombas centrífugas (4+1), mas una en reserva. Cada una de ellas puede impulsar un caudal de 626 m<sup>3</sup>/h a 24 bar. Longitud de la conducción 4721 m. Diámetro 700 mm.

- **Impulsión a Mancomunidad de Canales del Taibilla (Primer escalón de bombeo):**

Tres bombas centrífugas (3+1), mas una en reserva. Cada una de ellas puede impulsar un caudal de 626 m<sup>3</sup>/h a 9,5 bar. Longitud de la conducción 3050 m. Diámetro 500 mm.

- **Impulsión a Valle de Guadalentín 1 (Primer escalón de bombeo):**

Impulsión 1º: Once bombas centrífugas (11+1), mas una en reserva. Cada una de ellas puede impulsar un caudal de 713 m<sup>3</sup>/h a 21,5 bar. Longitud de la conducción 11175 m. Diámetro 1000 mm.

Desde el Bombeo de Segundo escalón a 11.175 m de la planta se realizan los siguientes bombeos:

- **Impulsión a Valle de Guadalentín 2 (Segundo escalón de bombeo):**

Nueve bombas centrífugas (9+1), mas una en reserva. Cada una de ellas puede impulsar un caudal de 626 m<sup>3</sup>/h a 15,5 bar. Longitud de la conducción 5894 m. Diámetro 800 mm.

- **Impulsión a M.C.T y Pulpí (Segundo escalón de bombeo):**

Dos bombas centrífugas (2+1), mas una en reserva. Cada una de ellas puede impulsar un caudal de 378 m<sup>3</sup>/h a 9,6 bar. Longitud de la conducción 690 m. Diámetro 350 mm.

- **Impulsión C.R. Águilas (Segundo escalón de bombeo):**

Una bomba centrífuga (1+1), mas una en reserva. Cada una de ellas puede impulsar un caudal de 626 m<sup>3</sup>/h a 6,9 bar. Longitud de la conducción 320 m. Diámetro 350 mm.

- **Entrega por gravedad al Ayuntamiento de Pulpí.**

Para abastecimiento a la zona costera mediante conexión a la arqueta de rotura de carga de tubería de fundición dúctil y 400 mm de diámetro.

## **VERTIDO Y DIFUSIÓN DE LA SALMUERA.**

A partir de las propiedades del medio receptor, del vertido y de las condiciones ambientales (profundidad y corrientes, predominantemente longitudinales, en dirección paralela a la costa), se ha analizado la dispersión del vertido para distintas configuraciones del sistema difusor en la condición más desfavorable: vertido continuo con caudal máximo en presencia de una corriente estacionaria, sin cambio de dirección ni de intensidad.

El análisis de la dispersión del vertido con el sistema formado por 14 difusores definido inicialmente daba los siguientes parámetros de los difusores para la óptima dilución de la salmuera:

- Diámetro de los difusores: 350 mm
- Ángulo de los difusores: 60° respecto a la vertical (inclinación habitual óptima para vertidos de estas características)

Los resultados obtenidos mostraban que la salinidad a 500 m del sistema difusor, en las proximidades de la pradera de Posidonia oceánica, eran del orden de 39,12 psu, para las condiciones ambientales más desfavorables (corriente longitudinal, paralela a la costa, débil, de intensidad igual a 7 cm/s) lo cual no cumple estrictamente las condiciones de la DIA, debiendo para ello verificarse la estadística correspondiente a esta situación (menor del 25 % del tiempo).

Con objeto de garantizar un cumplimiento estricto de dichas condiciones ambientales para la pradera de Posidonia oceánica, se procedió a la optimización del sistema difusor, obteniéndose los mejores resultados de dilución para los siguientes parámetros:

- Sistema de 8 difusores (este sistema permite que la distancia entre los mismos sea mayor que en el caso de 14 difusores, evitando la interacción entre las plumas derivadas de cada uno de los chorros)
- Diámetro de los difusores: 310 mm (mayor velocidad de salida del chorro)
- Ángulo de los difusores: 60° respecto a la vertical (inclinación óptima)

Los resultados obtenidos para esta situación en las condiciones más desfavorables (corriente longitudinal débil de 7 cm/s), para los caudales de vertido de 1,50 m<sup>3</sup>/s y 2,20 m<sup>3</sup>/s, indican que la salinidad del vertido a 500 m de distancia del sistema difusor es inferior a 38,5 psu en todos

los casos, verificándose por tanto el requerimiento establecido en la DIA para la preservación de la pradera de Posidonia oceánica.

No se contempla la posibilidad que el penacho de mayor densidad (hipersalino) generado sobre el fondo marino alrededor del sistema difusor pueda dirigirse hacia la costa por las siguientes razones:

- Por difusión: debido a la elevada pendiente del fondo marino, del orden del 5 %
- Por advección, debido a la ausencia de corrientes por fondo en la dirección perpendicular a la costa.

## **CONCLUSIONES.**

La IDAM de Águilas/Guadalentín inicialmente fue prevista para una producción de 60 Hm<sup>3</sup>/año, acorde con las demandas de agua existentes en la zona. Después de comenzadas las obras dicha demanda se incrementó, pasando a ser una instalación deficitaria en cuanto a producción de agua respecto de la demanda, por lo que se decidió rediseñar las instalaciones para que fuesen capaces de producir 70 Hm<sup>3</sup>/año en una futura etapa de ampliación de la misma, quedando toda la infraestructura diseñada y construida para ampliar a futuro exclusivamente equipos mecánicos.

El diseño y construcción de las instalaciones ha sido muy homogéneo y conservador en cuanto a calidades de materiales, equipos, parámetros de diseño y de explotación, utilizando primeras marcas y por supuesto ampliamente contrastadas en el sector. Al mismo tiempo se ha dotado a la IDAM de la flexibilidad suficiente como para acometer la instalación de equipos a modo de ensayo o prueba a escala real, como por ejemplo los filtros presurizados horizontales construidos en PRFV.

Por otra parte, la línea de proceso seleccionada consta de gran cantidad de procesos, todos ellos altamente contrastados. Como complemento, la IDAM ha sido diseñada suficientemente flexible a la hora de aplicar varios o todos ellos simultáneamente y con la posibilidad de variar los parámetros del diseño durante la explotación en función de las necesidades del momento, marcadas por la calidad del agua de mar, datos climatológicos y calidad de agua producto requerida

Persona de contacto: Rafael Buendía Candel.

Organización: SADYT (VALORIZA).

Dirección: c/ Molina de Segura, 8 bajo A 30007 Murcia.

Teléfono: 968 35 40 28

Fax: 968 21 37 16

Email: rbuendia@gruposyv.com