

MEMEORIA

- 1. Antecedentes**
- 2. Objeto**
- 3. Normativa**
- 4. Solución Adoptada**
- 5. Puesta a Punto, Pruebas de Funcionamiento y Rendimiento de la Planta**
- 6. Viabilidad**
- 7. Gestión Ambiental**
- 8. Programa de Trabajos**
- 9. Documentos que integran el Proyecto**
- 10. Presupuesto**
- 11. Declaración Obra Completa**
- 12. Conclusiones**
- 13. Bibliografía**



1. ANTEDECENTES

El motivo por el cual se hace necesaria la construcción de esta Planta Desaladora se debe a que la zona de la Región de Murcia se conoce por sus escasas lluvias, esto hace que la población tenga menos recursos de donde obtener agua potable tanto para consumo como para abastecimiento de sus regadíos. Y teniendo en cuenta que la agricultura es un pilar importante en la economía de la zona, se hace indispensable la ejecución de la misma. La desaladora de agua de mar permitirá aportar recursos necesarios para alimentar la zona, liberando la sobreexplotación de los recursos subterráneos, ya que ésta actualmente se encuentra en un estado de déficit hídrico, por las cada vez menores aportaciones del trasvase Tajo-Segura.

2. OBJETO

El principal objeto de la nueva planta desaladora es el abastecimiento de agua para riego y consumo humano de gran parte del Sur-Oeste de la Región de Murcia. El área de influencia de las necesidades a satisfacer abarca los siguientes términos municipales: Lorca, Alama de Murcia, Totana y gran parte de las Playas de Mazarrón, y junto a una extensa área de producción que constituyen los principales cultivos de regadío.

Para la solución del problema planteado se prevé la proyección de una planta desaladora que sea capaz de producir agua al menor coste posible ambiental y económico.

Otro objetivo de dicho proyecto, consistirá, en seleccionar el proceso de desalación más adecuado para la planta que queremos proyectar, de acuerdo con diversos criterios como costes y simplicidad de explotación y mantenimiento, superficie requerida, fiabilidad, costes de construcción, impacto ambiental, rendimientos, ect.

Una vez seleccionado el sistema de tratamiento más idóneo se procederá al dimensionado de las unidades que lo constituyan, de manera que la planta tenga una vida útil de 25 años.

3. NORMATIVA

- RD 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos.
- RD legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- RD 1327/1995, de 28 de julio, sobre instalaciones de desalación de agua marina o salobre.



- RD 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- RD 1138/1990, de 14 de Septiembre, por el que se adapta a la legislación española la Directiva Europea 80/778/CEE, de 15 de julio, sobre la calidad de las aguas requeridas. Define las características de un agua potable.
- RD 258/1989, d 10 marzo, sobre vertidos de sustancias peligrosas desde tierra al mar.
- Ley 22/1988, de Costas; así como la Orden de emisarios submarinos de 2003.
- Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, sobre Prevención de Riesgos Laborales y sus modificaciones posteriores.
- Directiva 85/337/CE, junio 85, E.I. sobre el Medio Ambiente de ciertas Obras Públicas y Privadas.
- Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Ley 6/2001, de 8 de mayo, de modificación del Real Decreto 1302/1986, de evaluación de Impacto Ambiental.
- Ley 4/1997, de 24 de julio, de Construcción y Explotación de Infraestructuras de la Región de Murcia.
- Ley 1/1998, marzo, de Protección del Medio Ambiente de la Región de Murcia.
- Ley 7/1995, abril, de Animales Silvestres, Caza y Pesca Fluvial.
- Ley 42/2007, 13 Diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.
- RD 105/08 de Producción y Gestión de Residuos de Construcción y Demolición.
- ORDEN MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.
- Artículo 108 bis. del Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA), sobre principios generales aplicables a los vertidos marinos.

4. SOLUCIÓN ADOPTADA

4.1. Ubicación Desaladora

Para el estudio de nuestra ubicación he hecho un repaso de todas las estaciones desaladoras existentes en la Región de Murcia (*Imagen 4.1*) y de ahí he llegado a la



conclusión que en la playa de Parazuelos (cercana las playas de Calnegre, *Imagen 4.2*), no sería una mala ubicación ya que esa zona aunque no está muy urbanizada tiene muchas hectáreas de campos de cultivo e invernaderos alrededor y además ayudará a que la desaladora de Águilas que es la más cercana a ésta no tenga que trabajar a su máxima capacidad ya que ésta distribuye a una gran parte de la Región y además aporta parte del agua producida a la MCT.

Se hará un mayor estudio sobre la justificación de la zona en el *Anexo2: Estudio de Impacto Ambiental*. Y se comentará las distintas características de esta zona y su grado de afectación por la construcción de nuestra desaladora.

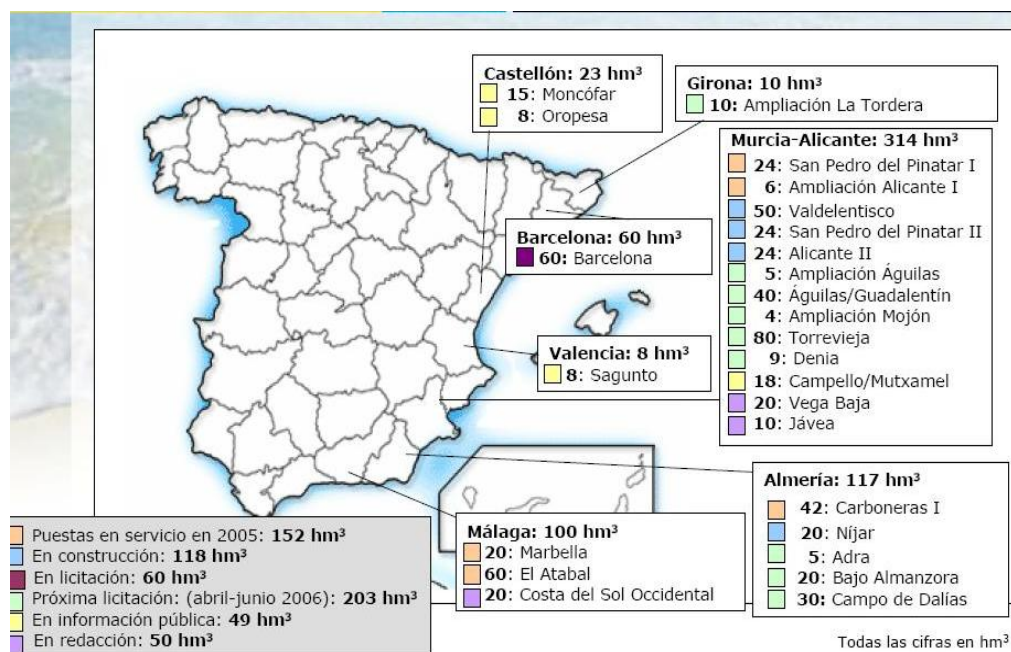


Imagen 4.1. Estado de ejecución en las cuencas mediterráneas, 2006.



Imagen 4.2. Zona instalación de la desaladora



4.2. Los Procesos de Separación

Para producir la eliminación o separación de sales es necesario que exista algún elemento que actúe de barrera. Esta barrera física son las que constituyen la base de la mayoría de los procesos de separación que se realizan en la actualidad.

El elemento separador se conoce en unos casos como filtros y en otros como membranas, en función del tamaño de las partículas que es capaz de separar. Cuando se trata de desalar, es decir separar los componentes químicos o iones del agua, su tamaño es tan pequeño que bajo esta perspectiva que hemos descrito son necesarias las membranas.

Pero la desalación no solo se logra mediante la interposición de una barrera que obstaculice el paso de sales, otros procesos existentes no utilizan un elemento físico separador y sin embargo también realizan la separación de sales, como la destilación, también utilizadas en la actualidad, en las que solo la evaporación del agua y la posterior condensación del vapor formado producen la eliminación de sales, o la más experimental de cristalización.

En esta gama tan amplia de procesos se incluye por tanto desde las más elementales formas de filtración hasta las más sofisticadas de ósmosis inversa.

Proceso según Grado de separación en micras.

- **Filtración Multicapa >100**
- **Filtración Cartuchos >1**
- **Filtración sobre precapa >0.5**
- **Microfiltración >0.1**
- **Ultrafiltración >0.01**
- **Nanofiltración 0.001-0.01**
- **Ósmosis Inversa <0.04**
- **Electrodialisis <0.03**

Sin embargo, conviene hacer una distinción entre los distintos procesos que se enumeran y otros que no se enumeran.

✚ *Una fuente de información nos muestra un resumen de las características de los principales procesos para ayudarnos a escoger el más conveniente:*



1. La destilación:

- Tiene un elevado consumo energético.
- Requiere una elevada inversión inicial.
- Precisa de una extensión de terreno importante.
- Su eficiencia es baja.
- No depende de la salinidad del agua.
- Necesita una fuente de vapor que según los casos puede o no ser independiente del proceso.
- Produce un agua de calidad casi pura.
- Puede acoplarse a una central eléctrica productora de energía.

2. La ósmosis inversa:

- Tiene el menor consumo energético.
- Se puede utilizar tanto en agua salobre como de mar.
- La inversión precisa está muy ligada a las características del agua que se pretende desalar y en general es inferior a la de los otros sistemas.
- Precisa pretratamiento físico-químico que a veces pueden ser importantes.
- Precisa una extensión de terreno de tipo medio.
- Necesita una fuente exterior de energía.
- Además de iones separa bacterias y virus por lo que también tiene aplicaciones como sistema de desinfección.
- La presencia de iones específicos limita sus posibilidades de aplicación eficiente.
- Su manejo se complica en función de las características Físico-químicas del agua.

3. La electrodiálisis:

- Tiene un consumo energético de tipo medio que para aguas de salinidades bajas puede ser similar a la ósmosis inversa.
- Necesita menores tratamientos químicos que los otros sistemas.
- Sus necesidades de espacio e inversión son intermedias entre las de los otros sistemas.
- Su coste de instalación es superior a la ósmosis inversa.
- El agua producto es de inferior calidad a la de las otras tecnologías.
- Su consumo de reactivos es menor que en los otros sistemas.
- Su manejo es sencillo en todos los casos.

Las tecnologías evaporativas destacan solo en lo relativo a la calidad del agua bruta permisible y la calidad del permeado final. Sin embargo en nuestro caso, la calidad del agua de mar a tratar es buena y la calidad del permeado final es la idónea para el fin perseguido.

Concluimos eligiendo la *ósmosis inversa* como la tecnología a aplicar para nuestro proyecto.



Osmosis Inversa:

La ósmosis es un proceso natural que ocurre en plantas y animales. De forma esquemática (*figura 4.1*) podemos decir que cuando dos soluciones con diferentes concentraciones se unen a través de una membrana semipermeable (es decir, permite el paso de agua pero no de sales), existe una circulación natural de la solución menos concentrada para igualar las concentraciones finales, con lo que la diferencia de altura obtenida (suponemos los recipientes de cada soluto al mismo nivel inicial) se traduce en una diferencia de presión, llamada *presión osmótica*.

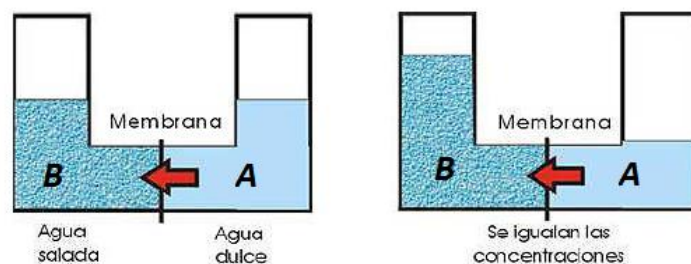


Figura 4.1. Proceso de osmosis entre A y B, a través de una membrana semipermeable.

Sin embargo aplicando una presión externa que sea mayor a la presión osmótica de una disolución respecto de otra, el proceso se puede invertir, haciendo circular agua de la disolución más concentrada y purificando la zona con menor concentración (*Figura 4.2*), obteniendo finalmente un agua de pureza admisible, aunque no comparable a la de procesos de destilación. Por eso es altamente recomendable para la filtración de aguas salobres, en las que la sal a rechazar es mucho menor que en aguas marinas.

La cantidad de permeado depende de la diferencia de presiones aplicada a la membrana, sus propiedades y la concentración del agua bruta, y la calidad del agua permeada suele estar en torno a los 300-500 ppm de TDS, cifra un orden de magnitud mayor al agua obtenida en un proceso de evaporación.

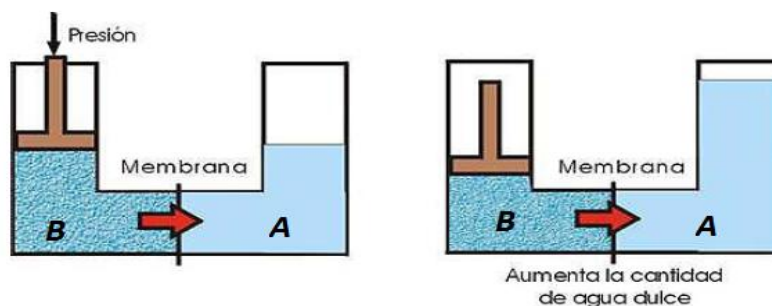


Figura 4.2.: Esquema de la ósmosis inversa.

Una membrana para realizar ósmosis inversa debe resistir presiones mucho mayores a la diferencia de presiones osmóticas de ambas soluciones (por ejemplo un agua bruta de 35.000 ppm de TDS a 25°C tiene una presión osmótica de alrededor de 25 bar, pero son necesarios 70 bar para obtener permeado).

Además debe ser permeable al agua para permitir el flujo y rechazar un porcentaje elevado de sales. Sin embargo no se puede considerar la OI como un proceso de filtración normal, ya que la dirección de flujo del agua bruta es paralela y no perpendicular como un caso cualquiera de filtración.

Ello implica que tan sólo una parte del agua bruta de alimentación pasa realmente a través de la membrana (un proceso de filtración lo haría en su totalidad), y que no se acumulen sales en la membrana al arrastrarse por el agua bruta que no pasa por la membrana.

El proceso de ósmosis inversa es tan simple que a priori solo son necesarias las membranas que filtren el contenido salino y el equipo presurizador. Pero una planta de OI es mucho más compleja que una agrupación de módulos y una o varias bombas, por ejemplo las membranas se ensucian muy fácilmente con la operación continuada y necesita un pretatamiento intensivo (mucho mayor que en los procesos de destilación), que comprende entre otros (ver figura 4.3):

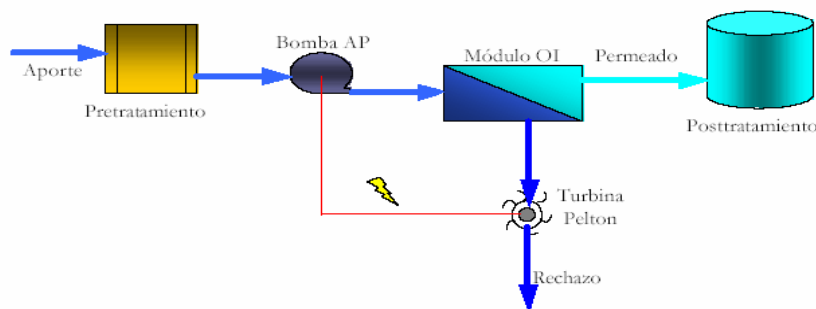


Figura 4.3. Desalación por ósmosis inversa (OI) con turbina Pelton incorporada

○ Selección del tipo de membrana

Según la composición de nuestra agua de aporte y los tipos de membranas y sus características visto en los apartados anteriores, la membrana seleccionada para nuestro proceso de ósmosis inversa tiene que ser *asimétrica* pues tiene capa activa. Además será una membrana *orgánica*, ya que las inorgánicas presentan limitaciones importantes en cuanto a su estabilidad química y resistencia a la temperatura.

El polímero que constituirá la membrana será *poliamida aromática* ya que sus propiedades son más favorables. Posee mayor rechazo de sales, no sufre hidrólisis ni



biodegradabilidad, mayor temperatura máxima de operación, mayor resistencia a oxidantes y un rango más amplio de pH de trabajo.

Como inconveniente presenta mayor índice de ensuciamiento y la posibilidad de aparición de desarrollos biológicos. Sin embargo estos factores negativos pueden ser minimizados con un buen estudio tanto de los productos de limpieza de la membrana como del propio plan de limpieza.

○ ***Selección del tipo de agrupación.***

La Estación Desaladora para la cual se está realizando el proyecto presenta como requisito de diseño funcionar con una conversión mayor del 60%, dicho esto quedan eliminadas las opciones de instalar los módulos con una estructura en serie o en paralelo, ya que estas no dan conversiones mayores del 50%.

Tendremos que disponer un sistema con rechazo en serie o con recirculación del rechazo que son los únicos capaces de alcanzar la conversión del proyecto. Como expusimos la recirculación del rechazo se emplea más cuando lo que se pretende es concentrar una solución. Si a esto unimos que su consumo específico de energía y la salinidad del permeado, son mayores que lo obtenido al instalar dos etapas con rechazo en serie, es clara la elección.

Dispondremos los módulos en dos etapas con rechazo en serie, el número de membranas por tubo, el de tubos por módulo y el de módulos en cada etapa serán calculados en *el Anejo 1: memoria de cálculos*.

○ ***Selección de configuración de módulos:***

Partimos de que todas las configuraciones utilizan membranas con la misma química y la misma estructura, que permiten obtener valores similares en el permeado. Por tanto en cada aplicación hay que escoger el módulo que mejor se adapte a las características y situaciones particulares que puedan presentarse.

Los módulos de placas son los que más tiempo llevan usándose, sin embargo hoy día son los menos usados pues presentan nula capacidad de sustitución e intercambiabilidad. Lo que quiere decir que no podremos en un futuro sustituir esas membranas por otras que mejoren el rendimiento, lo cual es inaceptable en un proceso que debe ir siendo mejorado.

De las tres posibilidades restantes eliminaremos la configuración tubular, la razón es que aunque su comportamiento en líquidos cargados es fenomenal, tienen muy baja superficie de membrana disponible por módulo. Esto hace necesario una gran cantidad



de módulos y mucho espacio. Lo que en un principio sería un ahorro de costes en mantenimiento por su bajo ensuciamiento, pasaría a ser un gasto elevado en inversión.

Las configuraciones más utilizadas en la ósmosis inversa son la espiral y la de fibra hueca, y entre estas dos debemos elegir la configuración de nuestros módulos. Las características de ambas son semejantes. Los módulos de fibra hueca son compactos ya que la superficie de membrana por unidad de volumen que presentan es elevada. Esto hace que sean más sensibles que otras configuraciones al ensuciamiento, tanto por sustancias coloidales como por sustancias en suspensión. Debido a esto su uso es solo recomendable en casos donde el aporte sea un líquido muy limpio ya que en caso contrario, aunque la inversión fuese reducida, los costos de operación o mantenimiento serían elevados por las frecuentes limpiezas y deterioros de los módulos a los que habría que hacer frente.

Así por el motivo expresado nuestros módulos serán de *membranas de poliamida aromática enrollados en espiral*.

4.3. Alcance del Proyecto

Dicho proyecto contempla todas las instalaciones necesarias para la ejecución de las distintas fases del proceso de desalación por ósmosis inversa, describiendo la mejor solución para cada tipo de instalación a diseñar. Las instalaciones que se describen son las siguientes:

- Captación de agua
- Pretratamientos
- Módulo de ósmosis inversa
- Sistema de limpieza
- Sistema de recuperación de energía
- Pos-tratamientos
- Otros

4.3.1. Captación del Agua

El diseño de la instalación se inicia con la toma o punto de captación del agua que va a alimentar el sistema, determinándose el tipo de obra a instalar de acuerdo a las propiedades del agua y a las propiedades hidrogeológicas de los acuíferos.

Para la confección del diseño adecuado de la toma de agua, se realiza un estudio hidrogeológico de la zona, incluyendo cartografía geológica continental y marina, batimetría y sondeos verticales de reconocimiento con extracción de muestra continua.



Aunque puede tratarse de instalaciones tan distintas como desalación de agua salobre o de mar, desde el punto de vista de las dificultades que a posteriori van a plantear al proceso, puede hablarse de tomas de agua “abiertas o superficiales” y “cerradas o a través de pozos”.

| Características de los procedimientos de captación | |
|---|--|
| Captación cerrada | Captación abierta |
| Agua limpia como consecuencia de la acción filtrante | Contenido en sólidos en suspensión importante y variable |
| Mínima actividad orgánica o biológica | Importante actividad biológica y presencia de materia orgánica |
| Baja concentración de oxígeno disuelto | Mayor exposición a la contaminación |
| Temperaturas estables | Importante concentración de oxígeno disuelto |
| Posible presencia de importantes concentraciones de hierro, manganeso, sílice y aluminio | Composición química muy variable |
| Posible contaminación por nitratos y plaguicidas | Posible presencia de gran variedad de contaminantes |
| Composición química bastante estable aunque sujeta a variaciones temporales o estacionales por contacto con otros acuíferos | Temperaturas más variables |

Analizando la tabla, es fácil llegar a la conclusión de que las captaciones cerradas son preferibles a las abiertas. De hecho, estas últimas sólo las emplearemos en los casos que no sea posible realizar las primeras.

- **Selección de la toma de agua.**

Los factores que condicionan la decisión son el económico y la fiabilidad de la toma de agua para la Planta.

Desde el punto de vista económico los pozos verticales son la vía más económica. Las opciones de captación por drenes horizontales y toma abierta son las más caras ya que la complejidad de su instalación las encarece. En la posibilidad de toma abierta esto se une a la necesidad de un pretratamiento más complejo y por tanto menos económico, quedando así descartada esta candidatura.



De las dos soluciones restantes, la posibilidad de interferencia con acuíferos continentales y la obtención de menores caudales gravan la toma de pozos verticales. Sin embargo con un adecuado estudio de su número y lugar de ubicación, ambos problemas no deben surgir. A esto se une que los caudales que son necesarios extraer de los mismos son relativamente pequeños.

Concluyendo en base a lo anterior queda así definida la toma de agua bruta como una captación mediante *pozos verticales*. Estarán separados lo suficiente para que no existan afecciones entre ellos, captando caudales parecidos, se pretende realizar con velocidades de captación muy pequeñas con el objeto de no causar ninguna afección.

Desarrollo del Diseño mediante Pozos Verticales:

La toma de agua mediante pozo es la más favorable y la que siempre hay que intentar construir. Sin embargo ello implica la permeabilización de caudales, a veces importantes, a través de los distintos estratos del terreno, que no siempre es posible lograr.

Las captaciones a través de pozos playeros consisten en una batería de pozos profundos, situados a lo largo de la línea de costa instalados dentro de la zona de intrusión marina. El número de pozos y sus características dependerá del caudal de impulsión y de la calidad de las aguas que se pretenden captar.

Las principales ventajas que ofrece la toma mediante pozos son:

- ❖ Limpieza del agua como consecuencia de su filtrado en el terreno, lo que se traduce en unos índices de turbidez (NTU) y de colmatación (SDI) bajos.
- ❖ Ausencia de contaminación orgánica y biológica
- ❖ Bajo contenido de oxígenos disueltos, lo que reducirá la agresividad y los problemas de corrosión en las infraestructuras.
- ❖ Temperaturas bastante estables
- ❖ Evita las complicaciones que supone el oleaje

Por el contrario, esta agua puede presentar altos contenidos en hierro, manganeso, aluminio, sílice u otros elementos que requieren un tratamiento previo.

Estos pozos de captación suelen tener una profundidad entre 100 y 200 m. dentro de la cuña de intrusión marina, de unos 300 a 400 mm de diámetro. Se componen de un primer tramo recubierto por un tubo impermeable que evita la captación de agua dulce de la zona de intrusión. Y un segundo tramo que se encuentra ya en zona de agua marina y es donde se sitúa un recubrimiento con ranuras para permitir pasar el agua y retener el terreno, por lo que ya el terreno está realizando las funciones de primer filtro,



lo que nos ahorrará ejecutar una etapa de desbaste y además permitirá un agua de alimentación de mejor calidad.

El agua asciende hasta alcanzar un nivel similar al del mar, nos evitamos el ubicar una bomba en el fondo del pozo, la tubería del pozo suele ser de polietileno de alta densidad (PEHD).

Los caudales varían en función de la transmisividad del acuífero, para que sea rentable se deben alcanzar unos caudales unitarios entre 25 y 50 l/s por pozo. La separación de los pozos vendrá dada por el caudal de captación y el sistema de bombeo que se pretenda instalar.

Como acabamos de seleccionar, la toma de agua se realizará mediante 8 pozos de 50 metros de profundidad y con una separación aproximada entre pozos de 15 metros, con lo que se obtendrá un caudal de 57.377 m³/día, de los cuales cada pozo captará alrededor de los 85 l/s. Los pozos presentan un diámetro de 0,5 m.

Cada pozo dispondrá de una bomba de captación. La misión de las bombas de captación es surtir de agua bruta la Planta, captándola en los pozos verticales y trasvasándola al depósito de agua bruta o agua de alimentación, para su posterior entrada a los procesos de desalación empleados en el diseño.

4.3.2. Pretratamiento

En una planta de desalinización de Ósmosis inversa es fundamental y básico un pretratamiento adecuado del agua bruta para conseguir una operación satisfactoria de la instalación.

Un empeoramiento del rendimiento de una planta de OI es el resultado de materias atrapadas en el módulo o sobre la membrana. Cuando esto ocurre, normalmente aumenta la polarización de concentración en la superficie de la membrana, que se traducen en un incremento del paso de sales y una disminución de la productividad.

Las materias atrapadas en las membranas también originan un aumento de la caída de presión en el módulo, creando así un flujo irregular en el mismo. Cuando se producen estos flujos irregulares por ensuciamiento, unas porciones de la membrana operaran a baja conversión y otras a alta conversión. Esto causa polarización de concentración en la porción de la membrana que opera a alta conversión, acelerando el ensuciamiento.

Para evitar estos problemas llevaremos a cabo en la planta una serie de tratamientos mediante la adición de productos químicos encargados de eliminar aquellos compuestos que más tarde podrían precipitar en las membranas.

Nuestro pretratamiento constará de las siguientes fases:

- Desinfección. Dosificación cloro



- Ajuste pH
- Dosificación coagulante
- Bombas a filtros
- Filtración rápida sobre lecho de arena y carbón activo
- Reducción-Decloración
- Dosificación de dispersante. Inhibidor
- Filtros cartucho

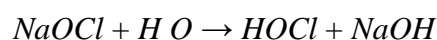
4.3.2.1. Desinfección

La desinfección es uno de los pasos más importantes de la purificación del agua de ciudades y de comunidades. Responde al propósito de matar microorganismos indeseados en el agua, por lo tanto los desinfectantes se refieren a menudo como biocidas.

Hay distintas técnicas de desinfección, tratamientos con ozono, radiación ultravioleta, tratamientos con metales como la plata, con gases oxidantes y los tratamientos con halógenos y sus derivados. Entre todos estos tratamientos los últimos y en especial los efectuados con derivados del cloro son los más usados.

La toma de agua bruta de la Planta es en pozos, como consecuencia la contaminación por bacterias o algas será lo suficientemente pequeña como para descartar para su eliminación pretratamientos complejos. Sin embargo un pretratamiento de desinfección será necesario.

El método más usado en instalaciones desaladoras por osmosis inversa es la adición de un derivado clorado. La base del proceso de desinfección es la formación de ácido hipocloroso (HOCl) que posee una elevada acción biocida, en nuestro caso será el hipoclorito sódico. La reacción que sucede es la siguiente:



Como se calcula en el apartado 2.1.1 del Anejo 1: Memoria de Cálculos, la cantidad a dosificar de hipoclorito sódico será de 0,535 m³/día (22,27 l/h) para la capacidad desdoblada y de 1,07 m³/día (44,54 l/h) para la totalidad instalada. Se realizará la adición antes del depósito de agua bruta ya que posteriormente se retirará al ser nuestras membranas de poliamida aromática y este polímero es sensible a la presencia de cloro (Cl₂). De esta forma su contacto con el agua es más prolongado y por consiguiente su acción biocida tiene mayor rendimiento.

4.3.2.2. Regulación del pH

La corrección del pH tiene como principal objetivo evitar la precipitación de carbonato cálcico en las membranas, nos interesará situarlo en un pH ácido mediante una



dosificación de ácido sulfúrico en previsión de posibles problemas o cambios bruscos en la composición del agua de aporte.

Las tomas de agua de la Planta suministran agua de mar mediante pozos a pH 7,5.

El producto distribuido por el proveedor es ácido sulfúrico con una concentración entre el 98% y el 99%, y con una densidad de 1,84 g/cm³. La dosis suministrada según los cálculos realizados en el *apartado 2.1.2 del Anejo 1: Memoria de Cálculos*, será 0,312 m³/día (12,99 l/h) para una línea, por tanto para las dos líneas será de 0,624 m³/día (25,98 l/h). La adición se realizará antes del depósito de agua bruta tras la adición del hipoclorito sódico.

4.3.2.3. Reducción-Decloración

Como se especifica más adelante en el *apartado 4.1. de esta memoria*, nuestras membranas son de *poliamida aromática* y este polímero es sensible a la presencia de cloro (CL₂) presente en el agua por la desinfección con hipoclorito sódico anterior, por tanto para eliminarlo o reducirlo del flujo de agua que llega a las membranas se realiza una decloración.

Los productos más empleados son los compuestos de azufre, dentro de la variedad de sistemas y productos para realizar este tratamiento nosotros aplicaremos la dosificación de bisulfito sódico (SO₃HNa) que es el más extendido por ser más simple y eficaz.

Generalmente se inyecta antes de los filtros de cartuchos y antes del inhibidor, de esta forma están desprotegidos de la labor desinfectante. Se dosificará cada línea con una cantidad de 0,386 m³/d (16,10 l/h) que equivale a 0,772 m³/d (32,3 l/h) de la solución de bisulfito sódico al 34%, empleado para la totalidad del agua bruta.

4.3.2.4. Coagulación

En el caso del proyecto de una captación en pozo, no suele ser necesaria la coagulación. Aún así, se prevé un sistema de dosificación de coagulante ya que está demostrado que su adición aunque no sea estrictamente necesaria mejora el rendimiento del proceso.

Su función es facilitar la retención de la materia coloidal contenida en el agua de mar por los lechos filtrantes. Los coagulantes se administran como apoyo a la filtración, los más frecuentes son distintos polímeros y el cloruro férrico.

El tipo de coagulante a utilizar será inorgánico, cloruro férrico (FeCl₃), que es el coagulante de uso más frecuente en este tipo de instalaciones. La disolución a emplear tiene una riqueza del 39% y una densidad de 1,41 g/cm³. Como se muestra en el *apartado 2.1.4. del Anejo 1: Memoria de cálculos*, la dosis a utilizar será de 0,156 m³/d (6,52 l/h) por una línea, las dos líneas en conjunto necesitarán una dosis de 0,312 m³/d (13,04 l/h).

4.3.2.5. Filtración Grosera

La filtración es un proceso físico fundamentado en el paso de una mezcla sólido-fluido a través de un medio más o menos poroso, el cual retiene los sólidos permitiendo el paso del fluido.

Se pueden diferenciar varios tipos dependiendo del material a separar, de la fuerza impulsora, el tipo de flujo, el mecanismo de retención y la velocidad de filtración.

En nuestro proyecto aplicaremos la filtración rápida, en la cual, el agua atraviesa el lecho filtrante a velocidades de 4-50 m/h.

Los filtros suelen ser de forma rectangular (*Figura 4.4*), donde el agua entra por un canal lateral superior que actúa como vertedero por desbordamiento y ésta se desplaza a través del lecho filtrante pasando a una cámara inferior separada por un falso fondo dotado de boquillas colectoras que dejan pasar el agua pero no el material filtrante.

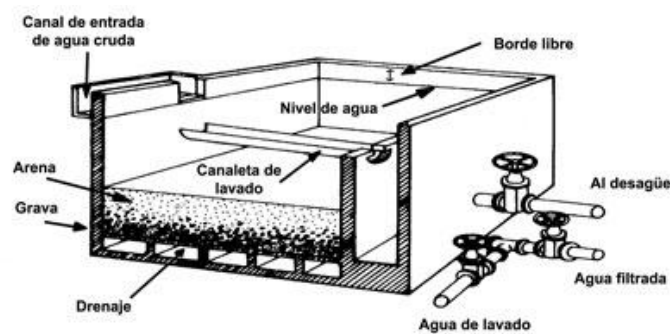


Figura 4.4. Filtro rectangular de arena

La arena, que es el material más empleado como medio filtrante, puede reposar sobre un lecho de grava que impide que el material más fino pase al fondo del filtro. El tamaño efectivo de la arena oscila entre 0,5-1,5 mm de diámetro, mientras que el tamaño de la grava de la base puede oscilar entre 35-130 mm, dispuesta en capas de menor a mayor grosor.

El espesor de las capas es variable en función del agua a tratar y del rendimiento que se quiera obtener. El espesor de la capa de arena puede oscilar entre 40-70 cm y el de las capas de grava entre 30-60 cm.

En función de las características del agua a tratar puede ser conveniente el diseño de filtros multicapa, consistentes en dos o más capas de materiales filtrantes de características diferentes. Una de las combinaciones más usuales es la filtración a través de arena y carbón activo, lo que permite retener compuestos indeseables del agua según su capacidad de absorción.

Estos filtros a medida que su lecho se va cargando de materias retenidas, se atascan. Cuando el atascamiento alcanza un valor excesivo debe procederse al lavado del lecho



filtrante. El tiempo que transcurre entre dos lavados sucesivos es denominado “*carrera del filtro*”.

Los tipos de lavado que hay son:

- Lavado con agua en sentido ascendente: expansión del 30-50%.
- Lavado con agua en sentido ascendente y lavado auxiliar superficial o subsuperficial
- Lavado con aire y agua

Emplearemos este último, del cual tenemos dos alternativas, lavado con aire y agua independientemente o lavado con aire y agua simultáneamente en el que primero se introducen el aire (*IFigura 4.5*) y el agua, para después interrumpir la entrada del aire manteniendo la de agua. Para la limpieza de los filtros se necesitan sistemas auxiliares como bombas de agua de lavado y soplantes para el lavado con aire.



Figura 4.5. Instante actuación soplantes de aire

Los filtros cuentan con un conjunto de válvulas que permiten las siguientes operaciones:

- Operación
- Lavado a contracorriente
- Lavado con aire
- Enjuagues, maduración

Estas válvulas están automatizadas de modo que las operaciones de limpieza se realizan de manera automática o semiautomática.

4.3.2.6. Inhibidor

Los dispersantes son muy efectivos en la prevención del ensuciamiento de membranas de ósmosis inversa debido a la formación de incrustaciones, usados a pequeñas dosis detienen el proceso de precipitación al inhibir el crecimiento de cristales de sal. Aunque no fuese necesario es conveniente su colocación, ya que la vida de una planta desaladora es muy larga y pueden producirse situaciones que requieran cambiar el tratamiento químico que se está llevando a cabo.



Los principales inhibidores que se utilizan son polímeros de síntesis, con aplicaciones específicas que han mejorado la efectividad.

En la Planta diseñada en este proyecto se usará como inhibidor el producto Genesys HR, comercializado por la empresa Genesys Internacional S.L. Genesys HR se trata de una solución de ácido fosfórico desarrollado como un antiincrustante para grandes desaladoras de agua de mar. Es un producto de nueva tecnología, que se utiliza en dosis muy reducidas. Inhibe todas las formas de incrustación permitiendo a las ingenierías el diseño de sistemas que operen a elevados porcentajes de recuperación.

Esto se traduce en un significativo ahorro de costes debido a la reducción de la cantidad de agua de alimentación utilizada y del volumen de agua de rechazo que será vertido. Genesys HR debe ser dosificado de forma continua al agua de alimentación. Puede dosificarse desde su forma pura o diluido, es particularmente efectivo en estaciones que operan a altas presiones con tasas de conversión del 60-65%, como es nuestro caso.

Los cálculos se han realizado en el *apartado 2.1.5 del Anejo 1: Memoria de Cálculos*, para una solución diluida al 25% del producto Genesys HR, y desprenden una dosificación para una línea de 0,059 m³/día (2,49 l/h). El consumo total en la Planta para las dos líneas será por tanto de 0,118 m³/día (4,98 l/h). Su aporte se realizará antes de los filtros de cartuchos, tras el bisulfito sódico.

4.3.2.7. Filtración de Afino. Filtros Cartucho

Por último pasamos a la fase en la que se encuentran los llamados *filtros de cartucho* (*Figura 4.11*), es un tipo de filtro en superficie que se utilizan normalmente como pretratamiento en ósmosis inversa o electrodiálisis. Son también conocidos como *filtros de seguridad*, ya que son la última etapa de pretratamiento que protege a las membranas posteriores.

El objetivo es impedir que lleguen hasta las membranas partículas de pequeño tamaño (5-10 micras), provocando ensuciamiento en las mismas.

Estos cartuchos suelen ser de polipropileno bobinado, extrusionado o plegado (*Figura 4.6.*), tienen un alma central tubular sobre el que se enrolla el material filtrante, de modo que las partículas quedan retenidas en su superficie y el agua pasa a través del medio filtrante hacia el tubo central. Los tamaños de los cartuchos están estandarizados, los más comunes en plantas grandes son los de 40" y 50" de longitud.



Figura 4.6. Tipos de Filtros de Cartucho

Este sistema tiene una cantidad de unidades de filtración según el caudal a filtrar y puede ir desde un cartucho hasta grandes cantidades. El cuerpo que contiene los filtros suele estar hecho de PRFV por tener un menor coste de inversión que los de acero inoxidable.

El diseño de los filtros se basa en la velocidad de filtración, que para ósmosis inversa suele ser entorno a los 15 m³/h por m². De esta forma conociendo la superficie por cartucho y el caudal a filtrar, podemos determinar el número de cartuchos necesarios.

Estos filtros no pueden limpiarse, por lo que una vez que se detecta ensuciamiento los cartuchos deben ser sustituidos.

Terminado el pre-procesamiento el agua pasará a la etapa de desalación, aquí tiene que llegar con unas condiciones específicas con el fin de no dañar la membrana y conseguir que realice la desalación eficientemente. El nivel de pH del agua debe estar dentro de un determinado rango dependiendo del material con el que esté fabricada la membrana, el índice de sedimentación debe de ser menor que 5, la concentración de cloro libre residual debe ser muy pequeña, en torno al 0.1 mg/l, la presión de entrada de la membrana debe estar entorno a los 50 bares para que trabaje eficientemente, y por último el caudal de entrada debe de estar también dentro de un rango.

Para tratar el agua que llega a las membranas de ósmosis se instalarán 9 filtros con 200 cartuchos filtrantes cada uno y que trabajarán con una velocidad de filtrado de 13,5 m/h.

4.3.3. Batidores de Ósmosis Inversa

Las bombas centrífugas de alta presión serán las encargadas de aportar al agua la energía hidráulica necesaria para la desalación. Las membranas se disponen en tubos de presión colocados en una estructura metálica, conocida como batidores de ósmosis inversa. Estos estarán debidamente sujetos para evitar posibles desplazamientos como

consecuencia de los golpes de ariete que se producen en los arranques de la instalación. En raras ocasiones se utiliza tan sólo una etapa, se suelen diseñar varias etapas de desalación (*Figura 4.7.*), introduciendo el agua de desecho de la primera etapa hacia la alimentación de la segunda. Este fluido de desecho tendrá una concentración de sales mayor que el inicial, una presión ligeramente menor y también un menor caudal. Una posible estructura de un bastidor de osmosis inversa lo incluimos a continuación.

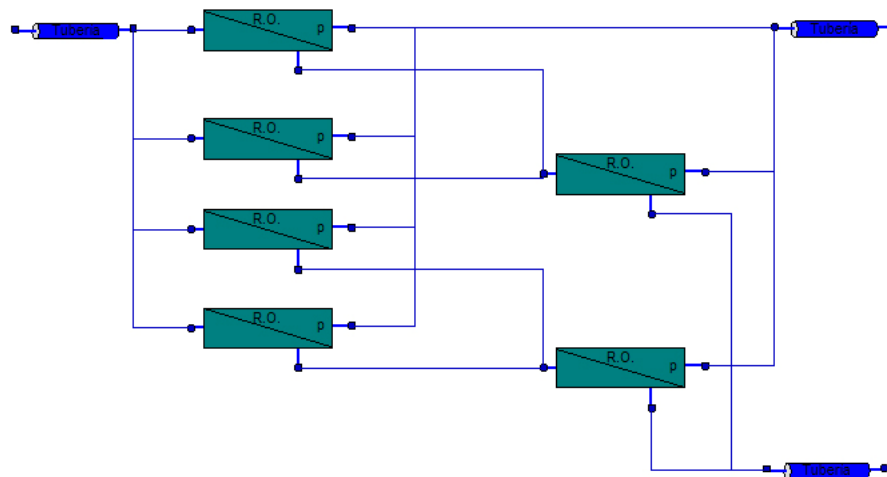


Figura 4.7.: Estructura de un bastidor de dos etapas.

En la primera etapa tendremos cuatro membranas, mientras que en la segunda sólo dos, debido a que en la segunda etapa el caudal de alimentación es menor.

Junto a los bastidores de membrana deberá existir un depósito de equilibrio osmótico con idea de garantizar que en todo momento las dos paredes de las membranas se encuentran húmedas, cuando la planta está parada por cualquier motivo. De lo contrario las membranas sufrirán un daño irreparable. Los bastidores sujetan también tanto los colectores de alta presión de alimentación y rechazo, como los de baja presión de agua producto.

En la parte superior de la instalación se dispone de unas válvulas de purga para eliminar el aire en los arranques de la instalación. En esta parte de la instalación, es donde se producen la mayor parte de las fugas de agua, para ello se dispone de una canaleta, fijada al bastidor en su parte inferior, para recoger los correspondientes goteos y conducirlos al drenaje general.

La separación entre bastidores se fija en 3 metros para poder realizar trabajos de mantenimiento entre ellos.

Los datos obtenidos en el *apartado 4 del Anejo 1. Memoria de cálculos*, muestran el nº de membranas, tubos de presión y otros datos para cada etapa de producción. Las



membranas a emplear son suministradas por la empresa Hidranautics, siendo entre todos sus modelos el SWC4- LD. En la siguiente tabla tenemos los datos obtenidos por una línea, para la IDAM completa deberíamos multiplicar por 2:

| RESUMEN DE ÓSMOSIS INVERSA | | |
|-----------------------------------|---------|---------|
| Nº membrana total | 720 | |
| Nº TP | 120 | |
| Nº TP total/etapa | 80 | 40 |
| Nº bastidor/etapa | 2 | 1 |
| Nº TP/bastidor | 40 | 40 |
| Nº membranas/bastidor | 240 | 240 |
| Qp/bastidor (m3/d) | 5904 | 5904 |
| Qp (m3/d) | 11808 | 5904 |
| Qptot (m3/d) | 17712 | |
| Y ₁ /Y ₂ | 41.16% | 34.90% |
| Y | 61.74% | |
| Qrechazo (m3/d) | 16880,5 | 10976,5 |

Aunque hemos intentado eliminar todas las partículas coloidales, siempre existirán, estas irán formando flóculos en las paredes de la membrana y empezará a obstruirse. En un primer momento se podrá subir la presión de trabajo para contrarrestar esta obstrucción y recuperar el caudal de permeado, pero finalmente cuando la presión máxima de trabajo sea insuficiente, la membrana deberá ser lavada o sustituida.

El lavado de la membrana se hará periódicamente con distintos reactivos químicos. Se recirculará el agua durante un tiempo con la idea de eliminar toda causa de suciedad en la membrana, se suele utilizar agua caliente.

Como dicha agua producida será para consumo humano, sus cualidades estarán regidas por la normativa vigente española referida a la calidad de las aguas requeridas, el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano y el Real Decreto 1138/1990 de 14 de Septiembre por el que se adapta a la legislación española la Directiva Europea 80/778/CEE de 15 de Julio de 1980 sobre la misma materia.

Posteriormente, la Directiva Europea 98/83/CEE de 3 de Noviembre establece unos nuevos requisitos mínimos a cumplir.



4.3.3.1. Ensuciamiento y Limpieza de membranas

Las membranas son muy sensibles y si el caudal de alimentación no está adecuadamente tratado pueden modificarse sus características de flujo o de eliminación de sales. Las sustancias que trae el agua se pueden depositar sobre las membranas, mallas y cajas de presión aumentando la polarización.

Es un hecho inevitable incluso con elevados pretratamientos ya que la suciedad depende de muchos factores: tipo de agua de alimentación, membrana, diseño de la instalación (flujo y rendimiento de recuperación), controles, etc.

Por fouling (ensuciamiento) se entiende la acumulación de materiales extraños en la capa activa de la membrana causando problemas operacionales. El término fouling es muy general e incluye diferentes problemas que podemos encontrarnos: scaling, coloidales y biofouling.

➤ **Formación de precipitados inorgánicos (scaling)**

El scaling o precipitado y deposición puede ser debido a sales minerales o a óxidos metálicos (*Figura 4.8*). Las sales minerales más susceptibles de precipitar son: CaCO_3 , CaSO_4 , BaSO_4 , SrSO_4 , CaF_2 o SiO_2 .



Figura 4.8. Scaling sobre la superficie de la membrana (DOW, 2009)

Los óxidos metálicos más comunes pueden ser: el hierro, el manganeso o el aluminio. El hierro puede estar presente debido a una gran concentración en el caudal de alimentación o a la corrosión de la instalación. Tiene un alto grado de rechazo por parte de las membranas lo que provocará que se concentre y precipite en el rechazo. El manganeso tiene un comportamiento similar al hierro y suelen precipitar ambos.

➤ **Coloidales**

En el caudal de alimentación puede haber partículas en suspensión de gran tamaño o coloidales. Las grandes partículas no suelen suponer un gran problema ya que son eliminadas en el pretratamiento. Sin embargo las partículas coloidales pueden superar los pretratamientos taponando los poros de la membrana y formando depósitos.



Las partículas coloidales tienen un tamaño comprendido entre 0,01 μm a 10 μm . Estas partículas están cargadas eléctricamente y atraen a los iones positivos formando una capa.

Cuando la concentración de sales aumenta, las partículas coloidales pierden la carga eléctrica y se desagrupan de los iones positivos (coagulación). A continuación pueden aglomerarse los iones y los coloides (floculación), formando partículas más grandes que ensucian la membrana.

➤ **Biofouling**

Puede producirse debido a que el caudal a tratar contiene suficientes elementos nutritivos para favorecer el desarrollo microbiológico.

Los desarrollos biológicos pueden digerir la capa activa de la membrana (poliamida aromática) degradándola y reduciendo sus propiedades. También pueden producir un biofilm que ensucia las membranas (*Figura 4.9*) y causa los mismos efectos que el ensuciamiento coloidal.

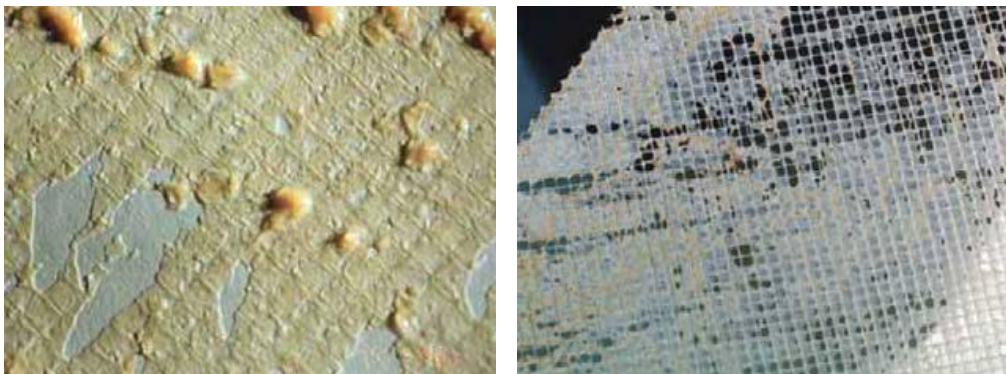


Figura 4.9. Biofilm sobre la superficie y la malla de la membrana (DOW, 2009)

4.3.3.2. Técnicas de limpieza

Las posibilidades de recuperar las propiedades de la membrana dependen de la rapidez con la que se detecte el problema y se actúe. Si la membrana trabaja sucia durante mucho tiempo, el atascamiento produce caminos preferenciales provocando que la limpieza posterior no actúe correctamente, entre otros problemas. A la vez se debe considerar que al aumentar la frecuencia de limpieza también lo hace su deterioro y se reduce su vida útil. Las membranas también deben limpiarse antes de una parada prolongada de la instalación (más de una semana).

Para determinar el ensuciamiento y momento de la limpieza de las membranas hay varios factores que se pueden considerar, algunos de ellos son:

- Reducción del caudal de permeado sobre un 15 %.
- Incremento de la conductividad del permeado alrededor de un 10 %.



- Incremento de presión de alimentación sobre un 15 % para poder mantener los valores de recuperación.
- Incremento notable de la presión diferencial a lo largo de etapas de la instalación de ósmosis inversa.
- Antes de largos períodos de parada (más de una semana).
- Antes de aplicar cualquier regenerador de las membranas.
- Antes de una parada de más de 24 horas, tras haber operado con un producto orgánico susceptible de favorecer los desarrollos biológicos.

➤ **Limpieza con agua osmótica a presión (flushing)**

Este tipo de limpieza consiste en cambiar el caudal de alimentación por agua osmótica y hacerla circular en el sentido habitual. La finalidad de esta limpieza es doble: por un lado pretende desplazar los restos de agua salada y evitar el fenómeno de ósmosis natural; por otro lado, al desplazar el agua salada evitamos que permanezca estancada en la instalación aumentando el riesgo de precipitados y corrosión.

➤ **Limpieza química**

Consiste en hacer circular una disolución química capaz de disolver los precipitados y el resto de depósitos en las membranas. El producto químico a utilizar no puede ser uno cualquiera y depende del tipo de fouling. Si no es el adecuado la limpieza es contraproducente y se producen más precipitados, por lo que el primer paso es determinar de qué tipo de fouling se trata.

Cada tipo de fouling tiene sus efectos y unos productos óptimos para tratarlos (Fariñas, 1999; Dow, 2006). Sin embargo hay dos tipos principales de lavado:

1. *Lavado ácido*, para eliminar los precipitados inorgánicos.
2. *Lavado alcalino*, para eliminar el ensuciamiento debido a la materia orgánica.

En muchos casos se desconoce la causa del fouling o bien es una combinación de varios tipos, en estos casos se realiza una combinación de ambos tipos de limpieza. El procedimiento siempre es el mismo y se inicia con una *limpieza alcalina*, si el resultado no es satisfactorio o hay precipitados de carbonato cálcico o óxido de hierro se procede a la limpieza ácida. La *limpieza ácida* es más agresiva y se deja como último recurso ya que reacciona con los materiales de la superficie de la membrana disminuyendo el rendimiento de ésta.

Normalmente, la necesidad de realizar una limpieza química de un bastidor, se manifiesta cuando concurre alguna de estas circunstancias:



- Incremento de la presión de alimentación en un 15% para mantener el caudal nominal de agua permeada.
- Disminución del 15% del caudal de agua permeada para la misma presión de alimentación al bastidor.
- Incremento del 30% de la presión diferencial del bastidor.

4.3.3.3. Proceso de limpieza

Este sistema consta fundamentalmente de un depósito donde se prepara la disolución de limpieza, cuatro grupos calefactores para calentar la disolución, un transmisor de nivel, un indicador lateral de nivel y tres interruptores de nivel (nivel alto, nivel bajo y nivel muy bajo). El producto químico seleccionado se diluye con agua osmotizada mediante un sistema de agitación constituido por eyectores y una bomba de recirculación. Se realiza la agitación del preparado de esta manera debido a las dimensiones del depósito, ya que con agitadores se comprobó que no se homogeneizaba correctamente la disolución.

Una vez realizada la disolución, ésta se impulsa mediante las bombas a una presión de descarga de las bombas es 6 bares. Las bombas disponen de válvulas de aislamiento y retención, manómetros y tuberías de interconexión en PVC, así como un medidor de caudal.

La disolución de reactivo atravesará un filtro de cartucho con el fin de eliminar pequeñas partículas presentes de reactivo que puedan quedar sin disolver. Este filtro es del mismo tipo que los utilizados en el pretratamiento del agua de mar, los cartuchos filtrantes son perfectamente intercambiables con los del pretratamiento.

La disolución se introduce en la tubería de alimentación del bastidor correspondiente, justamente detrás de la válvula de aislamiento, que en este momento, lógicamente, estará CERRADA. Atraviesa los módulos lavándolos a baja presión, con lo que la mayor parte de agua de la disolución saldrá por el rechazo de los módulos junto a los precipitados disueltos y pequeñas partículas de arrastre y que constituían la suciedad de las membranas. Esta agua de salida se lleva de nuevo al tanque de limpieza, estableciéndose una recirculación de la disolución del producto químico. Conviene descargar el primer 10% del volumen de la solución recirculada, para no diluir la solución de limpieza y además evitar la colmatación del filtro de cartuchos con la suciedad eliminada de las membranas.

Naturalmente, cuando se verifique este proceso se deberá aislar el circuito cerrado de módulos y equipo de limpieza por lo que se disponen las válvulas con finales de carrera y accesorios a éste fin.



Los productos químicos a utilizar en la limpieza de las membranas son varios y dependen de dos factores principalmente: del tipo de ensuciamiento que haya tenido lugar, y del tipo y fabricante de membranas instaladas.

Como ejemplo de productos químicos que se suelen usar en la limpieza química tenemos:

- Ácido cítrico al 1 ó 2% (pH 2.5 a 4) para limpiezas ácidas.
- Solución de hidróxido de sodio (pH 10-11) para limpiezas alcalinas.
- Metabisulfito sódico como desinfectante.

4.3.3.4. Deterioro de las membranas

La membrana puede perder sus propiedades debido a múltiples factores, entre ellos: compactación, fouling, telescoping, rotura de la cubierta externa o rotura de la membrana.

La *compactación* se debe a un exceso de presión de alimentación que provoca que la capa activa se comprima contra la capa de soporte. Como consecuencia se sellan poros y se disminuye el caudal de permeado.

El *telescoping* aparece debido a un exceso de prolongación de funcionamiento con las membranas sucias (*Figura 4.10*). Los precipitados crean caminos preferenciales y un incremento de la pérdida de carga. Esto provoca que se desplacen unas láminas más que otras provocando grietas, fugas y la mezcla del concentrado con el permeado.



Figura 4.10. Telescoping y rotura de la membrana (DOW, 2009)

Las *roturas de la cubierta externa* o la *rotura de la membrana* pueden producirse por defectos de fabricación, movimientos internos o rotura de algún elemento de la instalación que llegue a las membranas (*Figura 4.15*).



4.3.4. Sistema Recuperación de Energía

La salmuera a la salida de las membranas tiene aún mucha presión, ya que la pérdida de carga en el interior de los módulos de ósmosis inversa es pequeña, entre 2 y 3 bares. Para utilizar esta energía remanente, se conduce la salmuera a un sistema de recuperación de energía o Sistema de Intercambio de Presión (SIP), de forma que se aproveche el salto de presión entre la presión de la salmuera a la salida de las membranas y la presión atmosférica, puesto que la salmuera es conducida por gravedad hasta su punto de vertido en el mar.

Los intercambiadores de presión son dispositivos que transfieren directamente la alta presión de la salmuera de rechazo al agua de mar sin convertirla previamente en energía mecánica de rotación.

Este sistema presenta dos problemas:

1. Transferencia continua de presión: La transferencia de presión al agua de mar no puede realizarse en ciclos. Este problema se resuelve instalando en paralelo al menos un segundo cilindro cuyo funcionamiento debe estar desfasado respecto al primero, de manera que las membranas estén recibiendo permanentemente agua de mar a alta presión.
2. Presión de salida de las membranas: La presión con la que sale la salmuera de rechazo, debido a la pérdida de carga que sufre al atravesar las membranas, es inferior a la presión con la que el agua de mar entra a éstas. Este problema se resuelve instalando una *bomba booster* a la salida de los intercambiadores de presión. La fracción de agua que pasa por el sistema de recuperación de energía será impulsada a continuación por las bombas booster para unirse con el agua bombeada por las bombas de alta presión justo antes de los bastidores de ósmosis. Esta bomba booster impulsa un caudal de agua de mar ligeramente inferior al caudal de la salmuera de rechazo y la presión diferencial que aporta debe compensar la pérdida de carga que sufre la salmuera tanto en las membranas como en las tuberías y válvulas.

4.3.5. Tanque de Agua Producto

Este depósito tendrá como finalidad almacenar temporalmente el agua producto antes de su bombeo hacia la red de distribución. Serán necesarios 2 depósitos con capacidad de 1500 m³ cada uno para nuestra agua producto, se dispondrá uno para cada línea. Éstos serán cerrados y fabricado con Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV).



4.3.6. Post-tratamiento de Agua Desalinizada

El agua desalada que obtenemos de la etapa de desalación estará desequilibrada, tendrá escasez de calcio, un pH ácido en torno al 5.5 y una baja alcalinidad. Para estabilizar el agua se recurre a las siguientes técnicas: des-carbonatación o desgasificación; adición de productos químicos o mezcla con otras aguas.

El agua que sale tiene una salinidad por debajo de la máxima permisible para un agua potable (393 ppm). Sin embargo, algunos parámetros de esta agua deben ser corregidos. Estos son el pH, contenido en calcio y bicarbonatos.

Finalmente para cumplir con las normativas del estado, los índices de estos parámetros en el agua deben de estar marcados entre:

- ✓ Dureza total ≥ 60 ppm Ca^{2+} o iones equivalentes (Mg^{2+}).
- ✓ Alcalinidad ≥ 30 ppm HCO_3 .
- ✓ pH: 6,5-9,5.
- ✓ Concentración de cloro residual de 1mg/l.
- ✓ 60 mg/L de CaCO_3 (150 ppm de CaCO_3)

Por lo que es necesaria una última fase de post-tratamiento, consistente en una remineralización y una etapa de desinfección final, antes de su bombeo y distribución a los puntos de consumo.

Al añadir cal apagada conseguimos aumentar tanto el pH como el contenido en calcio, al mismo tiempo, la cal transforma el CO_2 que atraviesa las membranas en alcalinidad. Sin embargo, no es posible añadir tanta cal como la necesaria para alcanzar 60 ppm de calcio, ya que el pH se encontraría fuera del rango admisible para el consumo humano. Por ello, una vez añadida toda la cal posible (hasta un pH = 8,5 para tener cierto margen de seguridad) se añade cloruro de calcio hasta valor mayor o igual de 60 ppm.

4.3.6.1. Remineralización:

La remineralización se realiza mediante la adición de CO_2 e hidróxido cálcico, en forma de agua de cal. Para la preparación del agua de cal, está prevista la instalación de unos silos de almacenamiento de cal, unas cubas de preparación de lechada, unos saturadores de cal y las correspondientes bombas dosificadoras de lechada de cal.

La cal se descargará por medio de un tornillo sin fin en una cámara de mezcla, que toma parte del agua producto y lo mezcla con la cal, para hacer una previa dilución de la misma y posteriormente se inyecta en la misma agua producto (dicha cámara de mezcla es como un pequeño depósito que se encuentra en la propia planta desaladora y está



fabricado mediante hormigón armado). Se debe de realizar así ya que la cal es poco soluble, por lo que se debe de tener un gran énfasis en el mantenimiento de esta instalación, por los grandes problemas de atascamiento de las conducciones debido a la cal. Se debe de preparar una solución al 5% y esta es la que se debe de inyectar. Esta instalación no es objeto de diseño de este proyecto pero si se contempla para el acondicionamiento final del agua producto.

La cantidad a dosificar se obtiene de la abundancia de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} presentes en el permeado, añadiendo la cal hasta conseguir el valor de dureza de 150 ppm de CaCO_3) estipulado en la norma. El cálculo efectuado en el *apartado 2.2.1 del Anejo 1: Memoria de Cálculos*, muestra que el caudal a administrar de lechada al 10% será de 2,21 m³/día (92,11 l/h) para el permeado producido por la mitad de los bastidores y 4,42 m³/día (184,22 l/h) para todo el caudal de permeado producido en la IDAM.

4.3.6.2. Cloración:

Cloración: Proceso que consiste en agregar al agua cloro gaseoso, o compuestos a partir de los cuales se forma ácido hipocloroso o iones hipoclorito, a fin de inhibir el crecimiento de bacterias, plantas o animales, oxidar la materia orgánica, facilitar la coagulación o reducir el olor, entre otros. El propósito principal es generalmente la desinfección

Esta desinfección es distinta de la del pretratamiento, la normativa sanitaria exige la presencia de cloro residual en la red. De esta manera la desinfección es una cloración para cumplir con la normativa sanitaria. La característica principal del cloro para su uso como desinfectante es su presencia continua en el agua como cloro residual.

Además, el cloro no solo actúa como desinfectante, sino que también reacciona con otros elementos presentes en el agua, como amoníaco, hierro, manganeso y otras sustancias productoras de olores y sabores, mejorando la calidad del agua.

En este sentido existen distintas formas de post-cloración siendo la adición de hipoclorito sódico (NaOCl) el procedimiento más barato y más extendido, esta desinfección se realiza en la aspiración de las bombas de agua producto. La dosis recomendada de este producto es de 4,9 g/m³ de agua producto, así la dosis que se administrará es 0,07232 m³/día (3,01 l/h) por línea de producción y 0,14464 m³/día (6,02 l/h) para el global de la producción.

Estas instalaciones se deben de proyectar para su funcionamiento durante una semana, tras la cual deben de ser repuestos con más reactivos. Las destinadas a remineralización de proyectará en esta fase de post-tratamiento para su funcionamiento durante 40 días, ya que la dosis a emplear es muy pequeña.



4.3.7. Depósito Regulador

El agua producto se eleva hasta un depósito de regulación, cuya base se sitúa a una determinada cota 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.

4.3.8. Vertido de Salmuera

El vertido de salmuera que se realiza al medio receptor, posee una concentración muy elevada de sales, concentradas en la salmuera. Se diseñará un sistema de vertido con eductores que diluya la concentración salina hasta que ésta no sea significativa.

Esta salmuera se va a llevar a la conducción de vertido al Mar Mediterráneo, el punto de vertido de la planta Desaladora se localiza a más de 600 m de las praderas de Posidonia oceánica más próximas, por lo que tampoco prevé afecciones sobre ellas, debido a que esta solución proyecta una dilución del orden de 1:4 de la salmuera con el agua bruta, de tal manera que el vertido final presenta una salinidad muy próxima al medio receptor.

La conducción de la salmuera desde la desaladora hasta la línea de costa estará constituida por una tubería circular de hormigón armado de 1000 mm de diámetro y 1 km de longitud aproximadamente. La conducción será diseñada para que la velocidad de la salmuera este alrededor de 1,2 m/s y el régimen sea en lámina libre. Para ello se supone que el desnivel de 35 m con la línea de costa es siempre favorable a la conducción.

El colector de salmuera en su tramo marino es de polietileno de alta densidad de 750 mm de diámetro, instalado por un sistema mediante una perforación horizontal dirigida bajo el fondo marino, aflorando a una distancia de 410 metros de la línea de costa donde se sitúa el tramo difusor, de 100 metros de longitud. Se colocaran 10 eductores separados entre sí unos 10 m para maximizar la dilución.

Los eductores utilizan el efecto venturi para succionar agua o aire y mezclarlo con el caudal de aporte. Así se consigue alcanzar diluciones de 1 a 4. Se construirán en acero inoxidable y estarán ebotinados, lo que les confiere una excelente resistencia a la corrosión y a la abrasión.

A continuación, una muestra del extremo de uno de estos eductores con efecto venturi:

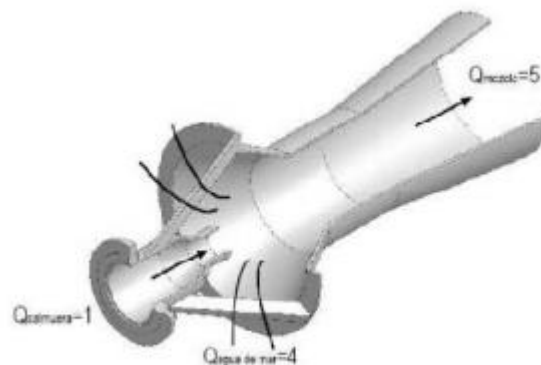


Imagen 4.11. Detalle extremo eductor



5. PUESTA A PUNTO, PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RENDIMIENTO Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA

5.1. Puesta a punto:

La puesta a punto forma parte del período de construcción y se dará por finalizada cuando funcionen todos los elementos y equipos de la planta. En este período se efectuarán las pruebas de los diferentes sistemas.

La planta será puesta en marcha por técnicos expertos en instalaciones de Ósmosis Inversa, asistidos por oficiales especialistas en equipos mecánicos y eléctricos como bombas, válvulas, motores, etc... La duración de este período de puesta a punto será de ciento veinte días.

5.2. Pruebas de funcionamiento y rendimiento:

Las pruebas de funcionamiento y rendimiento se iniciarán a partir de la finalización del período de puesta a punto. Su fin es determinar la capacidad de la Planta para funcionar en continuo de un modo correcto.

La planta estará atendida por técnicos expertos en instalaciones de Ósmosis Inversa, que serán los mismos de la puesta a punto y estarán asistidos por oficiales especialistas en equipos mecánicos y eléctricos.

La duración de este período será de quince días.

5.3. Mantenimiento de la planta

Los trabajos de la planta deberán ser adecuadamente programados de modo que se eviten accidentes con daños a personas. Se optará de esta forma tanto por un mantenimiento preventivo como por un mantenimiento predictivo. Un mantenimiento correctivo deberá ser lo menos frecuente posible.

A pesar del coste añadido que supondrá inicialmente este tipo de mantenimiento. El número de averías, paradas imprevistas de los equipos y emergencias se reducirá notablemente una vez puesta en marcha la Planta Desaladora, disminuyendo el coste de las reparaciones. El mantenimiento incluirá tanto tareas de mantenimiento general como tareas de mantenimiento específico. Su periodicidad podrá ser modificada una vez la planta esté en funcionamiento y se compruebe la necesidad de cada tarea, por lo que lo propuesto a continuación siempre será susceptible de ser modificado y mejorado durante la fase de explotación de la planta.



A continuación, se detallarán las tareas de mantenimiento mínimas a realizar, sin que esto impida la actualización periódica del plan de mantenimiento en función de las necesidades que vayan surgiendo en la planta.

Recibirán un tratamiento especial las operaciones de mantenimiento de los lechos filtrantes, filtros cartuchos y de las membranas de osmosis inversa.

5.3.1. Mantenimiento preventivo:

En el mantenimiento preventivo programado se realizarán tareas basadas en inspecciones y sustituciones periódicas de los diferentes componentes de las unidades en función del nivel de desgaste previsto.

Algunas de las tareas programadas son:

- Engrase de rodamientos (ejes de motor, bombas, etc)
- Cambios de aceite en los equipos que requieren lubricación
- Limpieza de las palas de agitación de la lechada de cal
- Revisión y calibrado de elementos sensores
- Revisión de los equipos de emergencia y evacuación

En el mantenimiento preventivo durante paradas de la planta se llevarán a cabo tareas de mantenimiento que por su dificultad, duración o necesidad específicas, requieran un mayor intervalo de tiempo que el resto de tareas de mantenimiento.

Algunas de las tareas de mantenimiento a realizar de esta forma serían:

- Limpieza del interior de las unidades
- Sustitución de los elementos estancos de goma de las válvulas
- Limpieza del depósito de agua bruta y del de almacenamiento del agua producto
- Limpieza de las tuberías
- Desmontaje de las bombas y turbinas pelton
- Sustitución de elementos desgastados

5.3.2. Mantenimiento predictivo

Se aplicará a todos los equipos de la planta que estén en funcionamiento, recogiendo el mayor número posible de parámetros mecánico operacionales para detectar los posibles desgastes o averías que estén teniendo lugar en los equipos.

Entre algunas tareas de mantenimiento predictivo a realizar estarían:

- Inspección de la tornillería y soldadura de los equipos
- Revisión de la estanqueidad de todas las unidades de proceso



- Revisión de la estanqueidad del cierre mecánico de las bombas y turbinas Pelton
- Revisión de las posibles vibraciones y/o ruidos anormales de los equipos

6. VIABILIDAD

El presente proyecto es viable desde los puntos de vista legal, técnico y económico, de acuerdo con la justificación que se da para los puntos de vista legal, técnico y económico.

Viabilidad legal:

Desde el punto de vista legal se garantiza el cumplimiento de la instalación con lo dispuesto en la Ley de Aguas del Real Decreto Legislativo 1/2001 de 20 de Julio.

El agua producto que se obtiene de la desalación en la instalación cumple con lo exigido en el Real Decreto 140/2003 de 7 de Febrero, por los que se establecen los criterios de la calidad del agua de consumo humano y la Directiva 98/83/CE del Consejo, de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.

En la instalación se produce un rechazo de salmuera que es vertido al mar, con la previa dilución del mismo mediante un sistema de eductores, el vertido de salmuera cumple con el Real Decreto 258/1989 de 10 marzo sobre vertidos de sustancias peligrosas desde tierra al mar.

Y la propia instalación como el emisario submarino y la captación submarina cumplen con la Ley 22/1988, de Costas; así como la Orden de emisarios submarinos de 2003.

La planta cumple con todos los requisitos legales actuales, tanto en materia de seguridad como medioambiental. Son de aplicación las normas de seguridad en el trabajo Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, sobre Prevención de Riesgos Laborales y sus modificaciones posteriores.

Viabilidad Técnica:

En el *apartado 4 del presente Documento 1: memoria* se realiza un análisis comparativo de los posibles procesos de desalación. Tras su definición se procede a la selección del más indicado acorde al marco y características del proyecto, y obtenemos que la ósmosis inversa es el método más indicado.

Respecto a la membrana y su configuración usada, no resta credibilidad al proceso pues en el estudio de selección de ambas se demostró que eran las elecciones adecuadas, en el *apartado 4.1. del presente Documento 1: Memoria*.



Hoy en día la viabilidad de la desalación por ósmosis inversa está más que demostrada y asumida, hay multitud de estaciones desaladoras de agua de mar funcionando con las mismas o similares características a la diseñada en este proyecto.

Otro factor que da credibilidad al proyecto es el hecho de que todos los equipos usados están garantizados y disponibles comercialmente.

Viabilidad Económica:

La viabilidad económica del vigente proyecto queda aprobada en el apartado correspondiente al presupuesto.

7. GESTIÓN AMBIENTAL

En este apartado hacemos referencia a una serie de recomendaciones que deben de adoptarse debido a las acciones de proyecto que se esperan se produzcan, tanto durante la construcción como durante la explotación de las instalaciones, frente a los elementos ambientales más significativos que operan en el entorno. Éstas vienen recogidas en su correspondiente *Anejo 2. Estudio Impacto Ambiental*.

8. PROGRAMA DE TRABAJOS Y PLAZOS DE EJECUCIÓN

Para la resolución de los tiempos de trabajo hemos realizado un cronograma que se muestra en su correspondiente *Anejo 5. Plazos de ejecución*, en el cual obtenemos un plazo de 12 meses para la construcción de la Planta Desaladora.

9. DOCUMENTOS QUE INTEGRAN EL PROYECTO

El presente Proyecto consta de los siguientes documentos:

Documento nº 1: Memoria y Anejos a la memoria

Anejo 1: Memoria de Cálculos

Anejo 2: Estudio de Impacto Ambiental

Anejo 3: Estudio de Seguridad y Salud

Anejo 4: Gestión de Residuos

Anejo 5: Plazos de ejecución

Anejo 6: Plan de Control de Calidad

Documento nº 2: Planos

Plano 1: Planta Principal



- Plano 2: Sección depósito Almacenamiento Agua Bruta
- Plano 3: Sistema Lavado de Membranas
- Plano 4: Diagrama de Flujo con Recuperación de Energía
- Plano 5: Instrumentación de la Planta Línea 1
- Plano 6: Localización Plaza Parazuelos
- Plano 7: Ubicación Desaladora

Documento nº 3: Pliego de Condiciones

Documento nº 4: Presupuesto

10. PRESUPUESTO

El presente Presupuesto de Ejecución de Materiales asciende a la cantidad de CUATRO MILLONES TRESCIENTOS SESENTA Y CINCO MIL OCHOCIENTOS NOVENTA Y SIETE EUROS con SESENTA Y SEIA CÉNTIMOS (4.365.897,66 €).

A esta cantidad se le añaden los costes derivados de Gastos Generales que corresponden a un 14% del PEM, Beneficio Industrial de un 6% y el correspondiente 21% de I.V.A., dicha cantidad asciende a un Presupuesto total de SEIS MILLONES CIENTO CINCUENTA Y CINCO MIL NOVECIENTOS QUINCE EUROS con SETENTA CÉNTIMOS.

Dicho presupuesto se puede observar en el *Documento 4: Presupuesto*.

11. DECLARACIÓN OBRA COMPLETA

Las obras comprendidas en el Proyecto constituyen una obra completa y, por tanto, susceptible de ser utilizada al finalizar dichas obras.

12. CONCLUSIONES

Con todo lo anteriormente expuesto, la ingeniera autora del proyecto considera debidamente justificado el presente Proyecto de “Diseño de Planta Desaladora de Agua de Mar por Ósmosis Inversa”.



13. **BIBLIOGRAFÍA**

13.1. **Enlaces bibliográficos**

- ❖ *"Desalación de Aguas"*. Autor: Juan Carlos Ibrahim Perera. Editorial: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- ❖ *"Ósmosis Inversa. Fundamentos, tecnologías y aplicaciones"*. Autor: Manuel Fariñas Iglesias. Editorial McGraw-Hill (1999).
- ❖ *"Ensuciamiento de membranas en plantas de osmosis inversa"*. Autor: P. Susial. Editorial: Soriano.
- ❖ *"Apuntes de clase"*. Profesor: Fco. Javier Pérez de laCruz.
- ❖ *"Introducción a la Desalación de Aguas"*. Autor: José Miguel Veza. Editorial: Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC, (2002).
- ❖ *"Ciencia, Técnica y Ciudadanía, claves para una gestión sostenible del Agua"*. Editorial: Fundación Nueva Cultura del Agua, (2006).
- ❖ *"La desalación en España. Situación actual y perspectivas. Conferencia internacional el Plan Hidrológico Nacional y la Gestión Sostenible del Agua. aspectos medioambientales, reutilización y desalación"*. Autor: José Antonio Medina.
- ❖ *"El impacto de las plantas desalinizadoras sobre el medio marino: la salmuera en las comunidades bentónicas mediterráneas"*. Autor: Esperança Gacía y Enric Ballesteros.
- ❖ *"Depuración, desalación y reutilización de aguas en España (estudio regional)"*. Autor: Rico Amorós, Antonio M.; Olcina Cantos, Jorge; Paños Callado, Vicente; Baños Castiñeira, Carlos. Editorial: Oikos-Tau, S.L., barcelona (1998).
- ❖ Libro Blanco del Agua. Ministerio de Medio ambiente, 2000. Libro Blanco del Agua

13.2. **Enlaces electrónicos**

- ❖ <http://www.ciccp.es/revistait/portada/index.asp?id=265>
- ❖ <http://web.ua.es/es/giecryal/documentos/desaladoras.pdf?noCache=1327100630472>, *Situación actual de las desaladoras en el sudeste mediterráneo.*
- ❖ <http://www.publico.es/251519/viaje-a-la-mayor-desaladora-de-europa>



- ❖ <https://sites.google.com/a/learning.eoi.es/magua2012-idam-de-gran-capacidad-con-ultima-tecnologia/documentos>, Ernesto Madero Ceña.
- ❖ http://www.harmsco.com/uploads/pdf/hif_installation_operation.pdf
- ❖ <http://www.harmsco.com/>
- ❖ <http://www.aiqsa.com/productos/produccion/depositos/d-almac.htm>
- ❖ *Hispagua*, sistema español de información sobre el agua.