

LA DESALADORA DE CARBONERAS EN LA PLANIFICACIÓN HÍDRICA DE LA PROVINCIA. BREVE DESCRIPCIÓN DE SU FUNCIONAMIENTO

FRANCISCO NÚÑEZ FRASQUET¹
Ingeniero de Caminos

I. INTRODUCCIÓN

La escasez de agua constituye uno de los principales factores limitantes del desarrollo económico de la provincia de Almería. Almería se caracteriza por la práctica ausencia de ríos con agua, numerosos acuíferos prácticamente agotados, precipitaciones muy escasas, a veces torrenciales y destructivas, y un aprovechamiento actual insostenible.

Es preciso tomar medidas drásticas tendentes a corregir la sostenibilidad, haciéndola compatible con un desarrollo económico que garantice el bienestar social de los almerienses y el de las generaciones venideras.

Todas las iniciativas requieren la aportación de los usuarios y, por tanto, deberán ser manejadas en total acuerdo con ellos. Pero los usuarios tendrán que contribuir con la parte que les corresponde, lo que resulta justo y necesario.

La tecnología de la desalación se manifiesta como una alternativa de solución muy plausible, aunque es una técnica costosa. Paralelamente, es necesario conseguir la recuperación de los acuíferos sobreexplotados, reutilizar las aguas residuales adecuadamente depuradas, eliminar las fugas en las redes, acabar con los despilfarros de agua, y construir obras blandas que eliminen o reduzcan los riesgos de avenidas destructivas al tiempo que minimicen la erosión y aumenten las disponibilidades de agua.

La desalinización introduce un factor distintivo que hay que considerar y es que se trata de una pro-

ducción de agua que no está sujeta al límite de las cuencas hidrográficas. Sin embargo, hay que planificar convenientemente estos recursos hídricos ya que generarlos tiene su coste.

Las actuaciones que ejecuta en la provincia de Almería el Gobierno de España son fruto del diálogo con los usuarios y el estudio de todas las posibilidades, alcanzándose soluciones consensuadas para garantizar un desarrollo sostenible. Así, cuando se inicia un proyecto de desalinización orientado a cubrir las necesidades de la agricultura u otros destinatarios, se tiene en cuenta numerosas variables para presentar la mejor oferta.

Una desalinizadora es un seguro de futuro. Se instala para funcionar cuando haga falta y estar parada cuando no sea precisa. Es decir, para seguir la curva de necesidades teniendo en cuenta que siempre se usarán las aguas convencionales antes que las desaladas. Sin embargo, su uso ha de tener en cuenta que cuando se produce agua hay que consumir energía. Esta estructura dual del coste del agua producida por la desalinizadora —una parte fija que depende de que la planta esté construida en un determinado lugar y otra que es la energía necesaria para la producción— hace que convenga ir a plantas grandes, pues los costes fijos son menores proporcionalmente. Por tanto, los proyectos intentan integrar zonas grandes de usuarios para obtener la solución más ventajosa.

Pero la potencialidad de la desalación es aún mayor. Hasta ahora, las plantas tienen uno o varios usuarios determinados con los que se pacta un convenio para darles agua. Sin embargo, eso obliga a que la planta de producción esté cerca de los usuarios que son el objetivo y a que estos no puedan estar

¹ Profesor titular de la Universidad de Alicante y ex director regional en Andalucía de la Sociedad Estatal Acuamed, encargada de la ejecución del Programa AGUA en la Cuenca Mediterránea Andaluza.



1. Caseta de bombas de impulsión. (Col. del autor)

a demasiada altura porque necesitarían una infraestructura muy importante que elevaría sensiblemente los costes. Si, en cambio, se adopta un criterio de cuenca, el alcance de la desalación es mucho mayor.

En efecto, el Organismo de Cuenca podría conceder agua en lugares donde ya no podría hacerlo por falta de recursos si se hace un intercambio de agua con otro usuario y se aplican los precios de forma intercambiada. Es decir, el usuario alejado del mar recibiría agua convencional que previamente estaba asignada a un usuario situado aguas abajo y el de aguas abajo, situado cerca del mar, recibiría agua desalada. Naturalmente, los precios aplicados al usuario de aguas abajo no tendrían variación y el coste del agua desalada sería pagado por el nuevo usuario.

El Organismo de Cuenca cuenta con ese caudal adicional para nuevos usos, siempre que los nuevos usuarios paguen el coste del agua desalada.

Este intercambio es aplicable también para producir caudales fluyentes (caudales ecológicos), sustituyendo concesiones de agua convencional por desalada y dejando fluir el agua correspondiente a la concesión. En este caso evidentemente el coste del agua desalada tendría que ser cargado al propio Organismo de Cuenca (a todos los españoles) porque la finalidad es producir un bien general y no a unos usuarios particulares.

La Desaladora de Agua de Mar de Carboneras, se diseña para una producción actual de 120.000 m³/día, con un factor de conversión del 45%, lo que obliga a tomar caudales de agua de mar de algo más de 266.000 m³/día.

El sistema de desalación utilizada es la osmosis inversa con toma de agua abierta, habiéndose desechado en su momento la opción de pozos en el litoral debido a que las características geológicas del subsuelo (calcarenitas pliocénicas) no garantizaban los enormes caudales de aporte necesarios, así como la alta densidad de actividades portuarias de todo tipo presentes en el frente litoral de la instalación determinaron la opción adoptada de toma abierta.

En la construcción de las obras de toma de agua, desarenadores y cantara de aspiración, se han previsto las infraestructuras necesarias para la ampliación, en el futuro, hasta los 240.000 m³/día.

La finalidad original de la obra es la de incorporar nuevos caudales a los recursos hídricos de la provincia de Almería, a fin de paliar el déficit del campo de Nijar y los caudales necesarios para el abastecimiento de los municipios costeros del Levante almeriense, pero con la ampliación de criterio que hemos descrito nos encontramos con que se está planteando la posibilidad de abastecer a la zona del mármol en Macael y que se han concluido los proyectos

para abastecer al Campo de Tabernas y los Llanos de Almería.

Como datos significativos de carácter global, podemos añadir que actualmente se trata de la mayor instalación europea de este tipo, sus caudales pueden abastecer a un equivalente de población de 500.000 habitantes, siendo el consumo de energía el equivalente a una población de 50.000 habitantes.

II. LA ÓSMOSIS

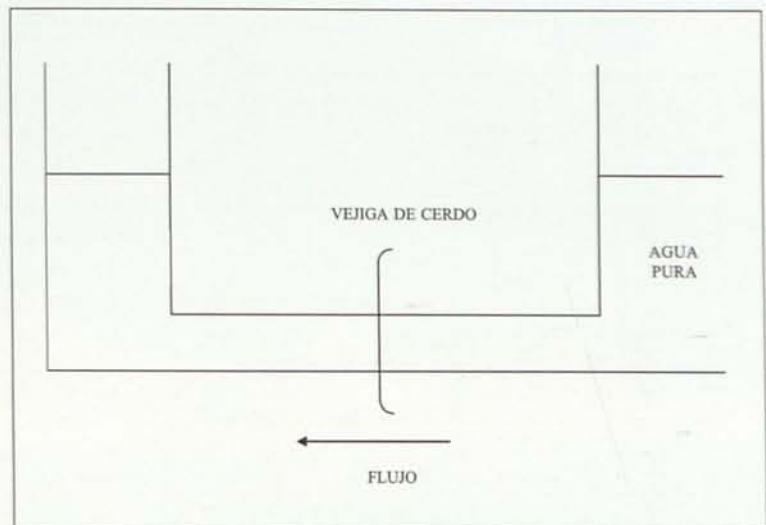
La ósmosis es un proceso natural que ocurre en la membrana protoplasmática de todas las células, vegetales y animales, permitiendo que el agua fluya por difusión desde zonas donde se encuentra con baja concentración de sales, a zonas donde se encuentra con alta concentración de sales.

En general, a ese tipo de membranas se las llama semipermeables; en definitiva se trata de cualquier membrana, animal, vegetal o sintética, en la que el agua puede penetrar y traspasar con mucha más facilidad que otros componentes disueltos en ella. Un ejemplo: las raíces permiten a las plantas extraer del suelo el agua; ésta, que se encuentra relativamente pura en el suelo, pasa por difusión a través de las membranas de las raíces para diluir la alta concentración de sales que normalmente tiene la savia de la planta, ya que a ésta se le evapora continuamente por las hojas.

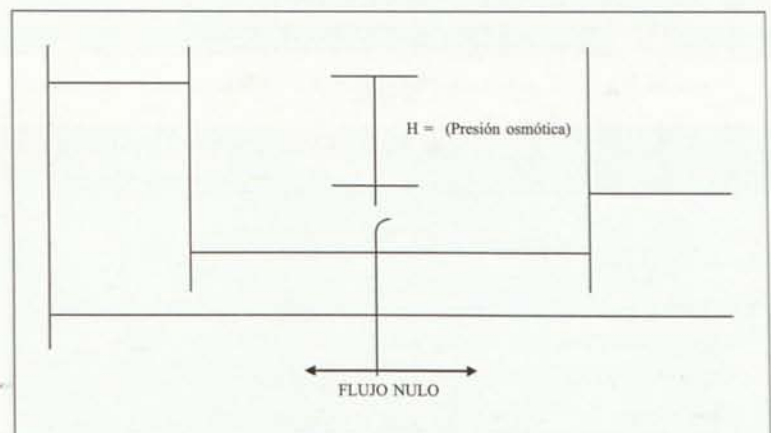
El objetivo de la ósmosis natural es permitir el desarrollo biológico de los seres vivos, convirtiendo el agua pura en agua menos pura al contaminarse con las sales, azúcares y fluidos vitales de animales y plantas.

Si fijamos nuestra atención en las patatas, zanahorias, almejas..., tendremos ejemplos prácticos del comportamiento de membranas semipermeables de origen natural. Podemos trasladar el fenómeno al laboratorio utilizando como membrana la vejiga de cerdo. (Esquema 1).

Separando mediante la vejiga de cerdo dos disoluciones de distinta concentración, notaremos de inmediato que el nivel de la columna de agua pura comienza a bajar a medida que el agua se va permeando a través de la membrana y diluye las sales de la columna de agua salobre. El flujo de agua se produce por la diferencia de concentración que va paulatinamente reduciéndose al tiempo que aumenta la dife-



Esquema 1



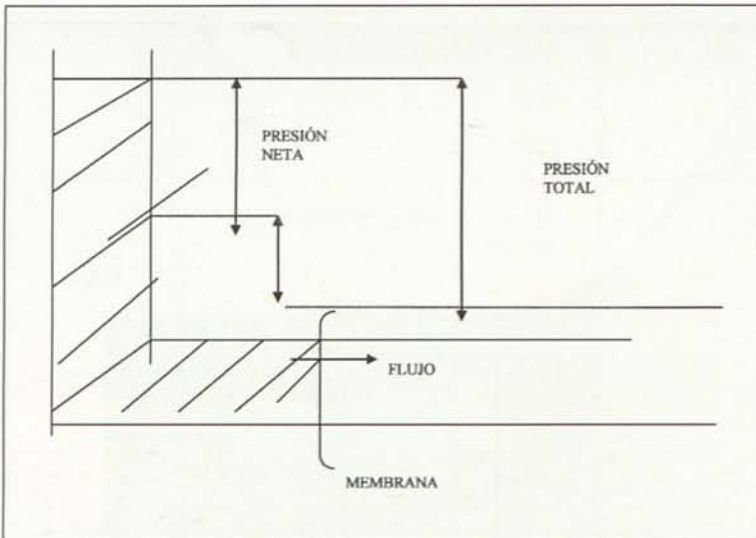
Esquema 2

rencia de nivel hidrostático entre ambas columnas, de tal modo que, cuando las concentraciones de ambas columnas se igualen, cesará el flujo y se estabilizará la diferencia de nivel hidrostático. (Esquema 2).

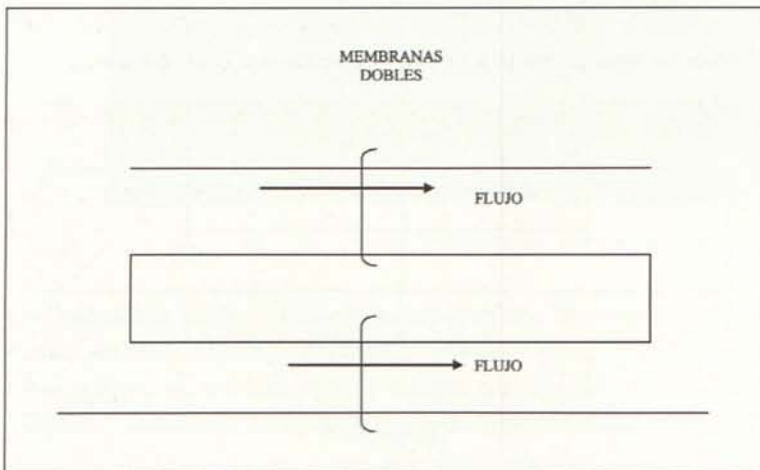
Quiere esto decir, que una vez calculada \bar{e} (presión osmótica) de la disolución salobre respecto al agua pura, estamos en condiciones de regular el flujo trabajando en el vaso de agua salobre con presiones equivalentes a la hidrostática calculada; más aún, nosotros conseguimos detener el flujo aplicando una presión igual a la calculada y lo que es fundamental: conseguimos invertir el flujo aplicando presiones mayores que la calculada.

III. LA ÓSMOSIS INVERSA

La osmosis inversa es un procedimiento técnico, creado por el hombre, para invertir el fenómeno de la ósmosis natural. El objetivo es obtener agua purificada partiendo de agua relativamente impura, salobre o salada. En el proceso, se le aplica presión a la disolu-



Esquema 3



Esquema 4

ción que tiene más alta concentración de sales forzando así un caudal inverso a través de la membrana semipermeable.

El rendimiento de la operación (caudales obtenidos) dependerá básicamente de la presión aplicada y de la superficie de membrana que utilicemos en el proceso, es decir, aumentaremos la productividad en función directa del área de membranas.

Podemos repetir la experiencia de laboratorio valiéndose de las conclusiones de la experiencia anterior (Esquema 3).

Volvemos a montar el mismo dispositivo con las dos disoluciones de agua pura (dcha.) y agua salobre (izqda.), de la cual ya conocemos su presión osmótica, sólo que en esta ocasión cuidaremos de obtener en el vaso de agua salobre una altura hidrostática (presión total) ligeramente superior al doble de \bar{e} (presión osmótica conocida). En esas condiciones el flujo se invierte y estamos en condiciones de hacer un cálculo

lo aproximado de cuál será nuestra presión de trabajo o presión neta.

$$P \text{ neta} = P \text{ total} - P \text{ osmótica } (\bar{e})$$

En la práctica, el segundo miembro de la igualdad tendrá tantos elementos negativos como elementos diferenciales de presión contengamos en el sistema en la práctica (fricción del fluido en tuberías, codos, válvulas, la propia membrana y su paulatino ensuciamiento). (Esquema 4).

En definitiva de esa presión neta dependerá el flujo a través de la membrana, es decir, aumentando la presión aumentamos la productividad. Al tiempo que, como hemos dicho antes, doblando el área de membranas, doblamos la productividad.

En la práctica, el punto de equilibrio dependerá de los caudales que pretendamos obtener y los costes de instalación más energía que tendrán que dar como resultado un precio del agua asumible por el consumidor.

IV. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DESALADORA DE CARBONERAS

El diseño de una nueva instalación incorpora por lo general nuevas ideas surgidas de experiencias anteriores. Así, la Desaladora de Carboneras se proyecta como el criterio de dos grandes unidades de producción de 60.000 m³/día y, a su vez, cada una de éstas se modula en seis líneas de producción de 10.000 m³/día. Por primera vez se supera la capacidad de producción por bastidor de membranas, pasando de 7.000 m³/día a 10.000 m³/día, superándose al mismo tiempo la idea de asociar equipo de alta presión a bastidor de membranas de modo unívoco, ya que se incorpora la filosofía del colector común sobre el cual actuarán los equipos de alta presión y del que se alimentarán los bastidores de membranas.

No obstante, un sistema de válvulas, distribuidas a lo largo del colector común, permite el funcionamiento por el sistema tradicional. El sistema de colector común permite las operaciones de lavado de bastidor sin necesidad de parar el equipo de alta presión asociado; para ello cada bastidor se divide a su vez en cuatro sub-bastidores separados mediante válvulas de aislamiento. Por tanto, en régimen de funcionamiento, cada unidad de 60.000 m³/día está compuesta por 24 pequeños bastidores de 2.500 m³/día,

permitiéndose así operaciones de lavado de pequeño tamaño sin tener que parar turbo-bombas, puesto que eliminamos solo el 2,084 %.

Al objeto de prevenir la disminución que las sucesivas fases de lavado originarían sobre la producción nominal de la instalación, la planta está sobredimensionada en un 2,5%, siendo por tanto la producción en fase de lavado prácticamente la nominal.

A continuación, trataremos de seguir el camino del agua en la instalación, desde la toma hasta el depósito de agua producto.

1. Captación de agua de mar

Se materializa en dos colectores de dos metros de diámetro que terminan en una toma en forma de tronera con huecos dimensionados para impedir la intrusión humana, situados a 150 metros de la costa y a una profundidad de 14 metros. Introducen agua de mar en la instalación, por el principio de vasos comunicantes, a seis canales desarenadores equipados con compuertas de aislamiento.

Los canales, con una longitud de 75 metros, son de dos metros de ancho y cuatro de profundidad, siendo su perfil longitudinal en fondo convergente al centro donde se instala un sistema de bombeo de lodos y fangos. En cualquier caso, si la acumulación de residuos en el fondo lo hiciese aconsejable, se podrán limpiar manualmente dichos canales previo cierre de las compuertas de aislamiento.

Los seis canales desembocan en la cantara de aspiración donde una batería de bombas de captación situadas por encima del nivel del mar (presente en la cantara) envían el agua a las dos líneas de producción para el pretratamiento físico (filtros de arena).

El número de bombas es de 14 (dos en reserva), centrífugas, verticales y sistema de cebado independiente para cada bomba gestionado por dos bombas de vacío (una en reserva). Las tuberías de impulsión a las líneas de trabajo son de poliéster



2. Entrada de agua producto a la balsa de impulsión. (Col. del autor)



3. Sala de bombas de agua de mar. (Col. del autor)

reforzado con fibra de vidrio y protegidas con un balón de autiariete.

El caudal unitario de cada bomba de agua de mar es de 980 m³/h y la presión de operación es de 6 a 7 kg/cm² suficiente para salvar el desnivel entre cotas (11 metros) y mantener mínimamente presurizados los filtros de arena.

2. Pretratamientos químicos

Al objeto de prevenir la contaminación de tipo biológico y las consecuentes apariciones de colonias bacterianas en la instalación, a la entrada de agua



4. Filtros de arena. (Col. del autor)



5. Colectores de filtros de arena. (Col. del autor)

el agua de mar con el objeto de que los coágulos floquen y puedan ser retenidos en los filtros de arena. El coagulante utilizado es cloruro férrico comercial del 99% de riqueza de 6 ppm mediante bombas dosificadoras (6 + 2 en reserva) capaces para caudales de 480 l/h. Para el almacenamiento del producto existen 4 depósitos de 2 m³ cada uno.

Para prevenir la precipitación de los carbonatos (fundamentalmente cálcico) en el interior de las membranas se dosifica ácido sulfúrico, que además:

- Potencia la acción oxidante del hipoclorhídrico sódico
- Facilita la acción del coagulante (ph ácido)
- Aumenta la producción de CO₂ que viene bien para el postratamiento con hidróxido cálcico.

La dosis prevista de producto es de 71 ppm, utilizándose sulfúrico comercial del 98% de riqueza, que se gestiona mediante bombas dosificadoras (6 + 2 en reserva) capaces para caudales de 684 l/h. El almacenamiento del producto se realiza en dos depósitos de 160 m³ construidos en acero al carbono y aislados del ambiente mediante sello hidráulico y secador de aire.

Circunstancialmente, cuando las características del agua de mar lo requieran, se dispone de dosificación química auxiliar (permanganato potásico...) y otros específicos.

—en los canales desarenados— se procede a su esterilización mediante la adición de hipoclorito sódico comercial (riqueza 150 gr/l). La dosis prevista de producto es de 5 ppm y se efectúa de modo automático, mediante bombas dosificadoras (6 + 2 en reserva) capaces para caudales de 380 l/h. El acopio del producto se hace en dos depósitos de 140 m³ (30 días de autonomía).

En ocasiones, el agua de mar puede contener coloides. Las moléculas coloidales se caracterizan por una configuración carente de carga eléctrica, lo que les da una estructura amorfa capaz de atravesar cualquier filtro. Para evitarlo es conveniente coagular

3. Filtros de arena

El filtro de arena, por decirlo de algún modo, es un sustituto artificial de la labor que la naturaleza realiza en las instalaciones que obtienen el caudal de agua bruta mediante pozos en el litoral. Es decir, vamos a tratar de imitar lo mejor posible la labor de filtrado que realizan los sustratos geológicos en determinados tipos de suelos.

Básicamente un filtro de arena consiste en un depósito cilíndrico de 12 metros de longitud y 320 cm. de diámetro fabricados en acero al carbono y revestidos interiormente de una capa de neopreno de 3 mm. de

espesor vulcanizado en caliente. Aproximadamente un metro por encima de su cota interior van dotados de un falso suelo taladrado y provisto de boquillas sobre el que se depositan dos lechos de arena de sílex con una altura total de 120 cm. y distinta talla. Los 90 cm. pegados al falso suelo son de talla 0,7 mm. Los 30 cm. superiores son de talla 2 mm

Ofrecen una superficie de filtración unitaria de 37 m² con un número de boquillas de 1850 / filtro aproximadamente.

Están dotados de manómetros en los conductos de entrada y salida para controlar la pérdida de carga, así como un caudalímetro a la entrada de cada filtro con alarma por bajo caudal para avisar cuando el filtro debe ser lavado. Aun así, la instalación está diseñada para que cada equipo turbo-bomba sea alimentado por los caudales de 3,33 filtros, con lo cual permanentemente habrá dos filtros en fase de lavado y 20 en funcionamiento.

Los filtros se lavan a contracorriente con agua procedente del arquetón de rechazo de membranas y aire a presión. Se utiliza este agua ya que se encuentra tratada y microfiltrada, se suministra mediante una batería de bombas centrífugas horizontales de 700 m³/h de caudal.

El aire necesario para la operación es suministrado por cuatro soplantes que proporcionan caudales de 1850 m³/h a una presión de 1,5 bar.

El proceso de lavado tiene lugar en 6 fases:

- Vaciado parcial: en esta fase el nivel de agua dentro del filtro se hace descender hasta situarlo levemente por encima del manto de arena.
- Esponjamiento de la arena: en esta fase se introducirá solamente aire a presión de 1,5 bar.
- Lavado: en esta fase se introduce una mezcla de aire y agua de rechazo (700 m³/h de agua y 1850 m³/h de aire)
- Aclarado: en esta fase se cerrará el conducto de aire y se introducirá solamente agua.
- Llenado: en esta fase se llenará el filtro hasta que el agua salga por la tubería de venteo.
- Vertido de las primeras aguas (prefiltración): en ésta última fase se procederá a verter las primeras aguas filtradas durante unos minutos, hasta comprobar que el índice de atascamiento sea el correcto,

transcurrido el proceso (45 minutos) se pondrá de nuevo el filtro en servicio.

El agua de salida en filtros de arena pasa a un colector del que se alimentan los filtros de cartucho o filtros de afino, cuya función es la de actuar como último elemento de seguridad frente a cualquier anomalía en el pretratamiento (rotura de boquillas con fuga de arena, etc.). Existen seis filtros de cartucho por línea de producción, con cartuchos de polipropileno de una capacidad de retención de 20 im. Están dotados de manómetros de presión diferencial para conocer su grado de atascamiento y la necesidad de cambio de los cartuchos filtrantes.



6. Filtro de cartuchos. (Col. del autor)

Desde los filtros de cartucho el agua pasará al colector de aspiración de las turbo-bombas. Antes se habrá de comprobar los parámetros del agua pretratada: así, a la salida de filtros de cartucho se controla la presión, el ph, la conductividad, el potencial redox y la temperatura, existiendo válvulas de aislamiento de turbo-bombas con descarga a drenaje, que actúan cuando se detectan problemas que puedan afectar a las membranas.

Existe un medidor que comprueba en continuo el índice de densidad de ensuciamiento (SDI), aunque se pueda hacer esta medida de modo manual puntualmente.

4. Dosificación de bisulfuro sódico dispersante

Antes del bombeo a alta presión, se mide el potencial redox del agua, lo cual nos facilitará informa-



7. Bastidores de membranas. 10.000 m³/día. (Col. del autor)

ción precisa sobre la acidez del agua a bombear. Al objeto de regularla se dosificará bisulfito que, además de sus cualidades de reductor, tiene un gran poder bacteriostático que limitará el desarrollo bacteriano, reducirá el cloro libre en el agua para evitar que éste ataque a las membranas, reducirá el oxígeno del agua de mar disminuyendo así su carácter corrosivo y bajará el ph, ya que como consecuencia de la reacción con los oxidantes se producen ácidos.

Al mismo tiempo, para evitar la precipitación de sulfatos en el interior de las membranas se dosificará dispersante (permatri-191). La dosificación de dispersante se hará previa su dilución en el agua por lo cual el depósito de almacenamiento irá provisto de un electro agitador para facilitar la operación. Se pretende así impedir que cualquier pareja de iones disueltos correspondientes a sales poco solubles pueda cristalizar sobre la capa activa de la membrana.

5. Bombeo de alta presión

El agua procedente de los filtros de cartucho es aspirada por los grupos turbo-bombas, que la impulsarán hacia los bastidores de membranas. Su tecnología está especialmente concebida para su utilización en plantas de ósmosis inversa.

Constan de un motor de 1500 Kw. de potencia y 3000 rpm con doble salida de eje, que es el elemento de unión de la bomba y la turbina de recuperación y hace que el conjunto funcione a la misma velocidad.

La bomba es centrífuga, de cámara partida y rodetes en oposición su caudal de bombeo es de 950 m³/h, con una presión de descarga de 70 kg/cm².

La turbina es PELTON, modelo CALDER, de cámara partida y cojinetes exteriores. El caudal de funcionamiento es de 522 m³/h, presión de entrada 68,2 kg/cm², presión de salida 0 kg/cm², su rendimiento nominal es del 88% y recuperan una potencia de 800 kw.

La bomba impulsa el agua a presión a los bastidores de membranas a 70 kg/cm², una vez osmotizada, la salmuera de rechazo tiene una presión residual de 68,2 kg/cm², es por ello que se recoge en colectores para enviarla al cuerpo de la turbina en la cual cede

gran parte de la energía que posee, consiguiendo reducir el consumo eléctrico de forma notable ya que el motor de accionamiento solo suministrará la energía adicional requerida por la bomba.

Los equipos están dotados de válvulas de retención (lenteja) para prevenir golpes de ariete sobre las tuberías de aspiración, así como válvulas de macho con actuador eléctrico para asegurar la rampa de arranque y evitar los golpes de ariete en las membranas.

Las tuberías de impulsión de agua y las de rechazo de salmuera son de acero inoxidable AISI 904 L, material compartido por las válvulas que incluye el sistema.

En el proceso de arranque se presuriza adecuadamente el colector de aspiración (bombas de agua de mar funcionando) y se mantiene cerrada la válvula de control, que se irá abriendo muy lentamente hasta que el bastidor alcance el punto de funcionamiento.

Para la regulación del bastidor, se cuenta con el siguiente equipamiento: caudalímetros de agua producto, transmisores de presión, analizadores-transmisores de ph, registro de temperatura y transmisores de presión en retorno a turbo-bomba.

6. Bastidores de membranas

Son el corazón de la Planta. Contienen los elementos donde se materializa el proceso de la ósmosis inversa y su selección, en cuanto al diseño del conjunto, está sujeta a una serie de factores y parámetros de funcionamiento tan prolija como determinante.

Se requiere un estudio pormenorizado del agua que alimentará la Planta, tipo y características de la toma, turbidez, tendencia incrustante en el rechazo (contenido y tipo de iones disueltos) acidez o alcalinidad (ph), sólidos disueltos totales (SDT), etc.

Tendremos, en función de esos parámetros, que adoptar decisiones en cuanto a características de la membrana a instalar. Fundamental será el flujo de permeado, el rechazo de sales y la presión de trabajo.

La decisión correcta varía para cada tipo de instalación, dependiendo en cada caso del precio de la energía, calidad del agua bruta y calidad de agua producto.

En nuestro caso, la salinidad del agua bruta es de 39,348 mg/l y su ph tiene un valor de 8,1.

El análisis del agua alimentación se especifica en el Cuadro 1.

La membrana elegida es la SWC3 de HYDRANAUTICS, arrollada en espiral con una capacidad nominal en retención de sales del 99,6%, flujo de permeado de 22,3 m³/día y una superficie de 34,374 m²/elemento.

La capa activa de la membrana es poliamida aromática con un espesor de 0,4 µm sobre lecho poroso

CATIONES		ANIONES	
Na+	12.179 mg/l	Cl ⁻	21.555 mg/l
Mg ⁺⁺	1.387 mg/l	So ₄ ⁼	3.200 mg/l
Ca ⁺⁺	449 mg/l	HCO ₃ ⁻	158,6 mg/l
K+	418 mg/l	F ⁻	1 mg/l

Cuadro 1

de 0,9 µm y carga negativa (aniónica) que resulta de importante ayuda para repeler cationes pero al tiempo se hace muy proclive a que se le peguen bacterias y cierta materia orgánica, de ahí la rigurosidad y control del pretratamiento y la imposibilidad de utilizar coagulantes polielectrolitos (carga catiónica) que las ensuciarían con rapidez.

Cada línea de producción de 60.000 m³/ día se compone de seis bastidores de membranas, con capacidad de producción para 10.000 m³/ día. En total hay 12 bastidores que nos darán la producción total de 120.000 m³/ día. Cada bastidor de membranas se divide en cuatro sub-bastidores dotados de válvulas de aislamiento, lo que permite operaciones de lavado de pequeño tamaño sin necesidad de parar la turbobomba asociada. Cada sub-bastidor de 2500 m³/ día



8. Postratamiento. (Col. del autor)



9. Salida de agua producto y salmuera de membranas. (Col. del autor)

esta constituido por 36 cajas de presión que contienen siete membranas. Cada bastidor (36 x 4) cajas $144 \times 7 = 1008$ membranas.

La Planta son 12 bastidores x 144 cajas x 7 membranas = 12.096 membranas x $34,374 \text{ m}^2/\text{membrana} = 415.788 \text{ m}^2$, que es exactamente el área superficial de membrana interpuesta en la operación (41,5 Ha). Podemos, anecdóticamente, materializar o “visualizar” esa superficie comparándola con el terreno de juego de un campo de fútbol de $115 \times 60 \text{ m} = 6900 \text{ m}^2$ Por tanto: $415.788 \text{ m}^2 / \text{campo} = 60$ campos de fútbol.

La instalación permite obtener caudales con la calidad exigida: salinidad menor o igual a 400 mg/l y conversión de 45%. Las membranas están diseñadas para trabajar con ph entre 3 y 10, con intervalos de temperatura entre 14° y 25° C . No debemos obviar la importancia de la temperatura en el valor de la presión osmótica, así para una presión neta de trabajo constante cada grado de variación en el punto óptimo supone variaciones de hasta un 4% en la productividad.

El flujo de agua de mar recorre los tubos de presión que contienen a las membranas, originando en su avance dos corrientes distintas:

- Corriente de aporte (agua bruta) a la entrada, que se transforma en corriente de rechazo (salmuera) tiene la particularidad que ve aumentar su concentración a medida que avanza a lo largo del tubo.
- Corriente de permeado: caudal que consigue atravesar la capa activa de la membrana y termina

en el tubo central de recogida del agua producto.

Es decir, a medida que se origina el permeado, las sales disueltas que contiene el agua bruta quedan en las proximidades de la capa activa de la membrana aumentando su concentración conforme progresa la corriente. Esa concentración tan elevada debería ser arrasada por la propia corriente de rechazo pero no es así, pues el comportamiento es semejante al que ocurre en las paredes de un caudal donde la velocidad del agua es prácticamente nula. En esas condiciones, las sales no pueden diluirse más que por retrodifusión, originando una zona cercana a la capa activa, llamada Capa Límite. El fenómeno se conoce como “polarización de la membrana” y al aumento de concentración generado se le llama “concentración por polarización”.

El fenómeno es muy a tener en cuenta respecto al rendimiento, puesto que a presión constante reduce el flujo de la corriente de permeado ya que aumenta la presión osmótica a medida que aumenta la concentración en la corriente de rechazo, disminuyendo por tanto, la presión neta de trabajo.

Del mismo modo, crece el riesgo de aumentar el flujo de sales en el permeado y el riesgo de precipitación de sales poco solubles sobre la capa activa de la membrana, efecto que minimizamos con la adición del dispersante antes del bombeo.

El agua producto se recoge en unos depósitos situados encima de cada bastidor de membrana, se llenan por la cuota inferior y se evacuan por la superior. Están dotados de cierre hidráulico en la comunicación con la atmósfera para evitar la contaminación.

El agua que sale por rebose de estos depósitos llega por gravedad al depósito de almacenamiento de agua producto situado en el exterior, desde donde se bombea a la balsa de impulsión a Venta del Pobre.

La misión de estos depósitos es la de contener permanentemente el agua suficiente (28 m^3) para contrarrestar el fenómeno de ósmosis directa durante paradas imprevistas (corte en el suministro eléctrico, etc.).

En estas circunstancias, en el interior de los tubos de presión hay dos tipos de agua separados por la membrana semipermeable:



10. Llegada del agua producto a la Venta del Pobre. (Col. del autor)

- Agua de mar concentrada por la capa activa.
- Agua producto por la capa de permeado.

En ausencia de presión la tendencia del agua dulce es pasar hacia el lado del agua concentrada (ósmosis natural o directa), lo que podría dar lugar a que por el lado del permeado se quedasen secas las fibras de la membrana. Por lo tanto, este depósito supera esta circunstancia al poder retornar el agua por gravedad inundando la totalidad del bastidor.

7. Desplazamiento y lavado de módulos

Con el funcionamiento continuo los módulos de ósmosis inversa se van atascando, descendiendo los caudales de agua producto.

Este atascamiento puede deberse a pequeñas concentraciones de sales o a materias coloidales, por lo que es necesario lavar periódicamente éstos. Para ello, y en función de la naturaleza de la suciedad, se preparan en una cuba una serie de reactivos (detergentes, ácido cítrico, hidróxido sódico, etc.) en función de la naturaleza de las sustancias incrustantes.

El lavado se realiza aislando el sub-bastidor en cuestión mediante una serie de válvulas y accionan-

do la bomba de lavado en circuito cerrado el tiempo necesario (dos horas aproximadamente), transcurrido ese tiempo se vaciará la cuba y se pondrá en marcha nuevamente el sub-bastidor comprobándose la eficacia del lavado.

Los reactivos utilizados en el lavado serán filtrados previamente a su neutralización a través de un filtro de cartucho con capacidad de retención de 5 μm , desde donde se conducirán a los colectores de la salmuera de rechazo.

8. Paradas de la instalación y desplazamiento de módulos

Cuando se para la instalación de un modo previsto en la operación, sucede en el interior de los módulos el mismo fenómeno descrito por fallo en la energía eléctrica. Para evitar el ensuciamiento y precipitación de sales en el lado de rechazo de las membranas, es preciso realizar un desplazamiento del agua salada con agua desalada.

La operación se realizará obligatoriamente en cada una de las paradas existiendo a tal fin 3 bombas de desplazamiento, con caudales de 360 m^3/h y 6 Kg/cm^2 de presión.

9. Tratamiento del agua producto

El agua producida por la instalación es muy corrosiva, teniendo un índice del Langelier de -5 a -6 debido al contenido de bicarbonatos del agua bruta que al reaccionar con el ácido para bajar el ph y evitar precipitaciones de carbonatos en el interior de las membranas forma CO_2 .

El anhídrido carbónico atraviesa las membranas de ósmosis inversa haciendo que el ph del agua producto este entre 5 y 6, si a esto le sumamos el bajo contenido de cationes calcio y aniones bicarbonato en el agua tratada, tendremos la razón de la agresividad de esta agua tratada.

Al mismo tiempo, esta agua debe cumplir con el reglamento técnico sanitario español y con las normas de potabilidad que aconsejan un ph comprendido entre 6,5 y 8,5. Por ello, se instalará un postratamiento en el que se adiciona hidróxido cálcico al agua para mantener el ph dentro de los rangos permitidos.

Así mismo, y de acuerdo con las normativas vigentes se dosificará hipoclorico cálcico para evitar desarrollos biológicos en la distribución y almacenamiento.

10. Salmuera de rechazo

La evacuación de la salmuera de rechazo se hace al canal de descarga de refrigeración de la Central Térmica Litoral de Endesa, para ello se utiliza una tubería de evacuación de poliéster reforzado con fibra de vidrio de diámetro 1.600 mm.

En ese canal se produce una mezcla en la proporción 1:20 de nuestra salmuera (caudales $6.000 \text{ m}^3/\text{h}$) con los caudales de refrigeración de la Central ($120.000 \text{ m}^3/\text{h}$) lo cual disminuye hasta el 5% la concentración de nuestro rechazo al tiempo que, al no tener nuestra salmuera gradiente alguno de temperatura, contribuye de algún modo a rebajar el gradiente del caudal de refrigeración en una simbiosis que minimiza enormemente el impacto medio ambiental de la descarga.



11. Tren turbobomba. (Col. del autor)