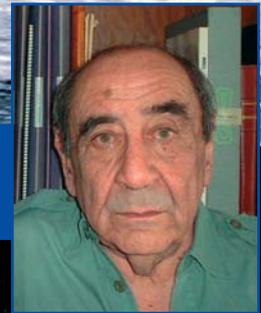


DESALACIÓN SUBMARINA

Carlos Escaño Cavanilles
Dr. Ingeniero Industrial

Recibido: 28-2-05
Aceptado: 21-3-05



1. GENERALIDADES SOBRE LA ÓSMOSIS INVERSA

El trabajo básico de una instalación tradicional de desalación de agua de mar por ósmosis inversa consiste en hacer pasar a presión el agua de mar a través de una membrana semipermeable. Se obtienen dos flujos distintos a la salida de la membrana: uno, de líquido con menor contenido en sal que el agua de partida, el agua desalada, y otro, con mayor contenido en sal al que se denomina salmuera. Al agua de partida se le suele denominar agua de alimentación.

La presión que se comunica al agua de alimentación es un parámetro esencial del funcionamiento de la instalación y condiciona absolutamente todo el proceso.

En las instalaciones de desalación usuales el proceso se lleva a cabo bombeando el agua de alimentación a

la presión deseada hasta su entrada a las membranas. El flujo de agua desalada se obtiene normalmente a la presión ambiente. La salmuera tiene una presión muy próxima a la de bombeo del agua de alimentación, pues la pérdida de carga en el paso por la membrana no es demasiado alta. Se han desarrollado varios sistemas para recuperar parte de esta presión de la salmuera antes de dirigirla hacia su destino final, la mar.

El **balance energético** básico de un proceso de ósmosis inversa es:

Energía gastada en el proceso =
Energía suministrada para el bombeo
– Energía recuperada de la salmuera.

El costo de la energía consumida en el proceso asciende al menos al 90% del costo total del agua desalada, siendo los otros costos importantes los de los reactivos químicos para acondicionamiento de las aguas para

el proceso, los de recambio de membranas y la mano de obra.

El trabajo que se lleva a cabo en una instalación tradicional de desalación de agua de mar por ósmosis inversa se puede agrupar dentro de los siguientes apartados:

• Captación y tratamientos previos

Consiste en la toma del agua de mar para su pretratamiento y posterior conducción hasta la zona en que va a tener lugar el proceso de desalación. Es habitual disponer un depósito con el fin de independizar el proceso de las posibles fluctuaciones de la fuente de captación y asegurar la alimentación continua a la línea de desalación. En este depósito se eliminan la mayoría de las bacterias presentes en las aguas por la acción del cloro, aunque existen medios alternativos más caros y complicados.

De manera somera los tratamientos previos que tienen lugar a continuación son filtración y pretratamientos químicos. Los tratamientos químicos tienen por objeto eliminar los oxidantes contenidos en las aguas e impedir, creando un medio ácido, la precipitación sobre la cara exterior de las membranas de CaCO_3 y otros iones divalentes

• Proceso

El agua de mar, filtrada y tratada químicamente, es bombeada a través de las membranas en las que tiene lugar el proceso de separación. La presión a la que se produce este bombeo es el parámetro fundamental de todo el proceso. El caudal de agua desalada que se obtiene varía linealmente con la presión de bombeo. Aunque teóricamente se puede obtener agua desalada para cualquier presión superior a las 28 atmósferas, de manera habitual para el agua de mar se trabaja en un rango de presiones comprendido entre 40 y 90 atmósferas.

Parte de la energía que contiene la salmuera se suele recuperar mediante turbinas u otros aparatos desarrollados expresamente para este fin. Al final, es evacuada dirigiéndola hacia la mar.

2. DESALACIÓN SUBMARINA

Cualquier sistema que consiga hacer entrar el agua de alimentación a la presión deseada a las membranas de ósmosis inversa es válido para la realización del trabajo de desalación. Se han ideado diversos procedimientos diferentes del bombeo para comunicarle al agua de alimentación la presión deseada a su entrada a las membranas. En lo que sigue exponemos uno de estos sistemas.

La base de todo el sistema submarino es utilizar la presión que tiene el agua de mar a cierta profundidad, tomán-

dola a esta profundidad y haciéndola pasar por las membranas de ósmosis inversa. Las membranas están colocadas dentro de un recinto en el cual reina la presión atmosférica, un recinto submarino estanco con capacidad para resistir la presión que tiene el agua de mar a la profundidad a la que se encuentra sumergido manteniendo en su interior la presión atmosférica. Existen multitud de aparatos sometidos a condiciones de trabajo semejantes en la industria química. Se les da el nombre genérico de recipientes a presión.

El proceso se realiza con la entrada de agua del exterior hacia las membranas y produce agua desalada a la presión que reina en el interior del recinto (la atmosférica) y salmuera a presión próxima a la del agua del exterior del mismo. El agua desalada se almacena temporalmente hasta que se bombea hacia su destino, en el interior del recipiente, y la salmuera es bombeada hacia el exterior por medio de una bomba que comunica a la salmuera la presión suficiente para volver a la mar.

Para utilizar el agua desalada, ésta se bombea desde el interior del recipiente a presión hasta la superficie. La ventaja de tipo energético de este sistema frente al tradicional reside en que en el sistema submarino tan sólo tenemos que someter a presión igual a la exterior el volumen de agua desalada, que es una fracción del agua to-

tal de alimentación. En el proceso habitual se debe someter a la presión de trabajo, la de la profundidad a la que nosotros sumergimos el recipiente a presión, la totalidad del agua de alimentación que interviene en el proceso.

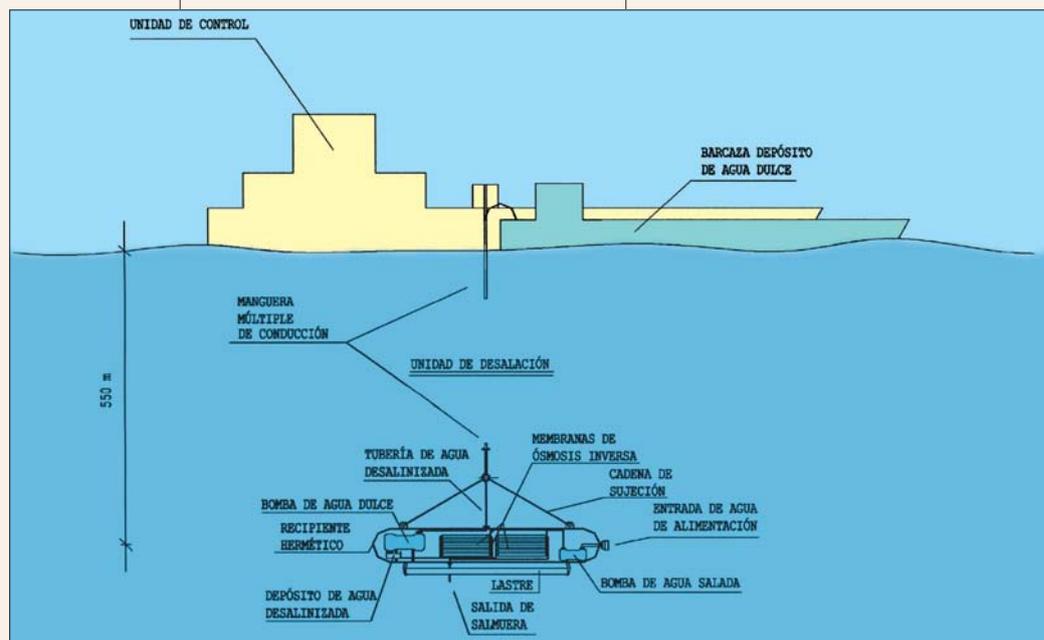
Hemos ido en nuestro proyecto a una presión de 56 atmósferas aproximadamente. Quiere esto decir que nuestro recipiente a presión y todo el equipo deben sumergirse a una profundidad de 550 m. Dado que no suele ser frecuente encontrar profundidades de 550 m en las proximidades de la costa, nuestros equipos deben trabajar a cierta distancia de la misma.

En esquema, una instalación submarina consta de los siguientes elementos:

A. Unidad de desalación

Es un recipiente estanco sometido a la presión exterior del agua, que encierra en su interior: las membranas de ósmosis inversa, la bomba de manejo de salmuera, la bomba de envío de agua desalada, las tuberías de interconexión, depósitos, válvulas y conexiones eléctricas. El recipiente tiene tres tubuladuras fundamentales: la de entrada de agua de alimentación, la de salida de agua desalada y la de descarga de salmuera.

Está suspendido por medio de cadenas de la unidad a flote y puede ser izado y hundido desde ella por medio de un cabrestante colocado en esta



unidad. Su volumen exige que se lastre el aparato. El aparato funciona, por diversas razones que no podemos entrar a detallar, pendiente de la unidad a flote, sin tocar el fondo. Obviamente, en su interior se alojan equipos, no personas.

Tanto las líneas eléctricas como la tubería de agua desalada van alojadas dentro de una manguera única que conecta, aparte de las cadenas de suspensión, la unidad submarina y la unidad a flote.

B. Unidad a flote

Es un barco normal en el que van instalados: el sistema de control del funcionamiento de la unidad submarina, el sistema de generación de la energía eléctrica que se consume en el trabajo y el cabrestante de manejo de la unidad submarina.

Se evita con esto la necesidad de todo tipo de filtración y de tratamientos químicos del agua de alimentación. Aparte de que el contenido de anhídrido carbónico en el agua de mar a dichas profundidades es bajo, teniendo en cuenta que la fuente de presión es gratuita, se va a diseños con recuperaciones mucho menores de las habituales en tierra. Con ello, sin tratamiento alguno, se impide la posible precipitación de carbonato cálcico sobre la cara exterior de la membrana de ósmosis porque la concentración de Ca^{++} en el agua de la salmuera se mantiene siempre por debajo de la de precipitación de este ión como carbonato, también como sulfato.

Tan sólo hay que bombear hacia el depósito de superficie el agua desalada, del orden del 20% del agua

considerando los rendimientos habituales de los equipos de bombeo. En el sistema más eficaz de recuperación de energía se llega a consumos totales de energía del orden de 4,4 kWh/m³, pero el sistema exige toda la cantidad de equipos habituales, aparte del equipo de recuperación cuya complicación mecánica es alta.

Creemos que las principales ventajas de tipo ecológico de nuestras instalaciones son las que se derivan de la situación de las instalaciones a distancia de las costas, de la carencia de cualquier tipo de edificaciones auxiliares en tierra y de la calidad de las salmueras. La disposición de la salmuera se hace directamente en el mismo lugar en el que se toma el agua. Como en el proceso no se ha añadido absolutamente nada al agua, las salmueras no contienen elemento o compuesto alguno que las aguas junto a las que son vertidas no traigan. Las salmueras habituales de los procesos normales de desalación contienen, como es lógico, todos los acondicionadores químicos que se adicionaron al agua de alimentación.

Por otra parte, a la profundidad de 550 m en la que trabajarán nuestras instalaciones no llega la luz y no existe vida vegetal que pudiera ser dañada por vertidos con contenidos de sal superiores a los del entorno. Los vertidos no pasan por tierra y no arrastran elemento alguno que pueda causar enturbiamiento de las aguas o que suponga aportación de elementos extraños.

Hemos desarrollado con detalle el proyecto de un equipo para una capacidad de 10.000 m³/día. Los costos a los que hemos llegado, incluyendo todos los equipos, es inferior al de una instalación tradicional de ósmosis inversa de la misma capacidad.

Estimamos que el sistema descrito ofrece una solución mucho más barata y técnicamente más simple que cualquiera de las tradicionales para la obtención de agua desalada a partir del agua de mar. Hemos ofrecido esta solución a diversas Administraciones de nuestro país y de otros con problemas de agua. Para más información, dirigirse a CESCANO@telefonica.net. ■

Las salmueras habituales de los procesos normales de desalación contienen, como es lógico, todos los acondicionadores químicos que se adicionaron al agua de alimentación.

C. Barcazas depósito

Se trata de dos barcazas con capacidad para recoger un volumen de agua algo superior a la capacidad diaria de producción de la instalación desaladora y dotadas de sus propios medios de propulsión para transportar y bombear el agua hasta el lugar de consumo.

3. VENTAJAS

Creemos que las instalaciones submarinas ofrecen importantes ventajas frente a las tradicionales en los aspectos técnico, económico y ecológico.

Las ventajas de tipo técnico se traducen en la eliminación de muchos de los equipos de las instalaciones tradicionales: Prácticamente el agua que se toma a esta profundidad está libre de sólidos y materia viva en sus-

total que entra en el proceso. La reducción de consumo por este concepto es sumamente importante desde el punto de vista del costo del metro cúbico del agua desalada.

La disposición de la salmuera se hace directamente a la mar. El problema, siempre difícil, de la disposición de las salmueras queda totalmente resuelto. La salmuera es devuelta a su origen en el mismo sitio prácticamente en el que se tomó el agua y en ella van todos los sólidos que tenía el agua disueltos, con concentración más alta, pero sin adición alguna, pues el agua de alimentación no ha sufrido tratamiento químico alguno.

El consumo total de energía por m³ de agua desalada en nuestro sistema submarino se sitúa exactamente en 2,580 kWh/m³, incluyendo los consumos de barcaza y barco y con-