

4. Técnicas de desalación

Tras las etapas preliminares de pretratamiento, el agua es desalada mediante diversos procedimientos. Los sistemas más empleados en la actualidad se pueden dividir en dos grandes grupos:

- Desalación mediante membranas.
- Desalación por destilación o evaporación.

Sin embargo, la tecnología de desalación más empleada actualmente es por medio de membranas, y en concreto mediante **ósmosis inversa (OI)**. Este capítulo se adentra en los conceptos básicos de las tecnologías existentes.

Figura 16. Aspecto general del interior de una desaladora de osmosis inversa. Imagen cortesía de INALSA



4.1. Tecnologías de membrana

Las tecnologías de membrana suponen un paso adelante en la filtración convencional aplicada tradicionalmente en el tratamiento del agua.

En este capítulo se explican los conceptos fundamentales de la ósmosis inversa, la nanofiltración y la electrodiálisis.

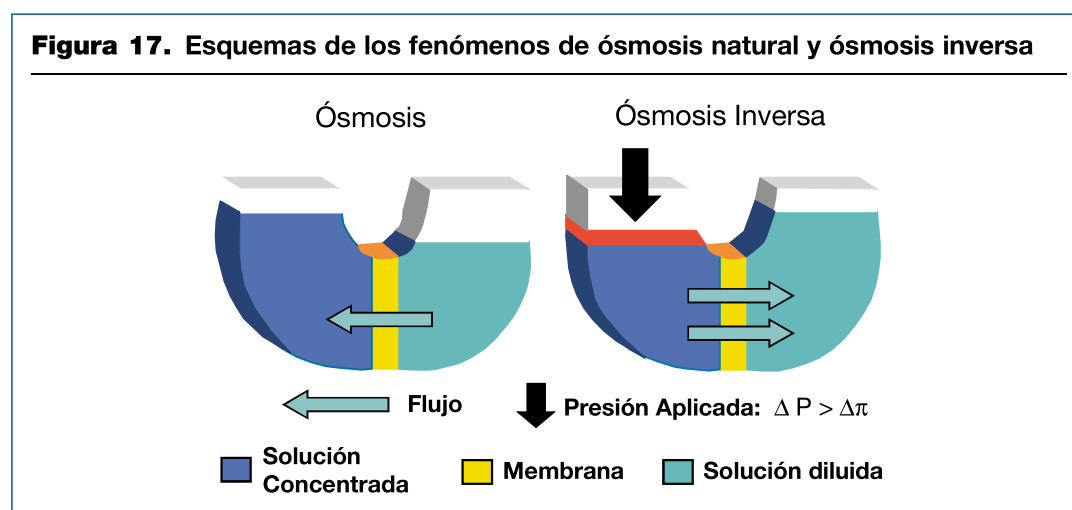
4.1.1. Ósmosis inversa

El fenómeno de la ósmosis ocurre cuando, a través de una membrana semi-permeable, el agua fluye desde la solución de menor salinidad hasta otra de mayor concentración salina. Es un fenómeno que tiene lugar en diversos procesos naturales como, por ejemplo, en la entrada de agua a través de la membrana celular de los seres vivos.

Según una regla fundamental de la naturaleza, este sistema intentará alcanzar el equilibrio, es decir, intentará alcanzar la misma concentración a ambos lados de la membrana. El flujo de agua desde la solución más diluida hacia la más concentrada se detendrá cuando se alcance un equilibrio entre ambas concentraciones. La fuerza que provoca ese movimiento se conoce como presión osmótica y está relacionada con la concentración de sales en el interior de ambas soluciones.

La ósmosis inversa consiste en invertir este proceso aplicando una presión superior a la presión osmótica correspondiente, en el lado de la solución más concentrada. Con esto se consigue que la dirección del flujo del agua vaya del lado de la solución más concentrada a la solución más diluida.

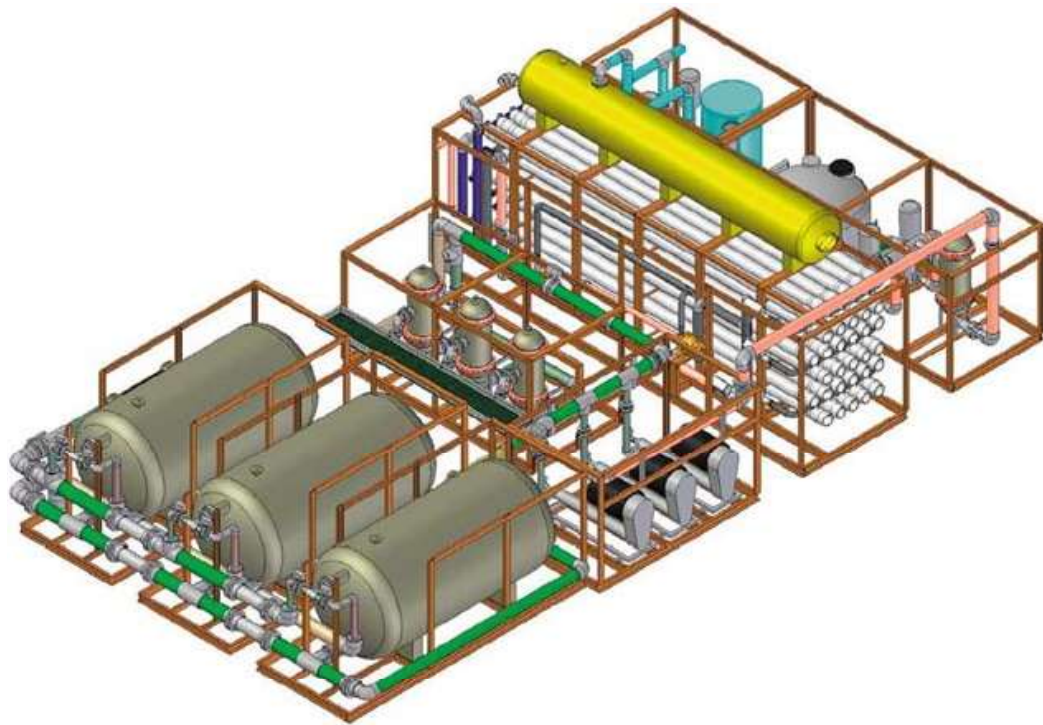
En la **figura 17** se ilustran ambos fenómenos:



4.1.1.10. Diseño de un sistema de membranas de ósmosis inversa. Principales componentes

Un sistema de ósmosis inversa simplificado está formado por una o varias bombas que alimentan el agua procedente del pretratamiento, al bastidor donde se encuentran las cajas de presión que alojan las membranas y un conjunto de tuberías que constituyen la línea de evacuación del concentrado y la línea de permeado para su postratamiento.

Figura 23. Esquema general de una pequeña desaladora industrial de agua marina (2.500 m³ día). Imagen cortesía de AQUAESPÑA



La salmuera o rechazo a la salida de los tubos tiene aún mucha presión, ya que la pérdida de carga en el interior de los módulos de OI es pequeña (entre 3 y 5 bares). Con el fin de utilizar esta energía remanente, se conduce la salmuera a un sistema de recuperación de energía, que consiste generalmente en una bomba invertida o una turbina hidráulica del tipo Pelton o Francis, o hacia unas cámaras de intercambio de presión, de forma que se aproveche el salto entre la presión de la salmuera a la salida de las membranas y la presión atmosférica. Con ello la energía necesaria para llevar a cabo el proceso se reduce sensiblemente.

Figura 24. Esquema básico de un sistema de membranas

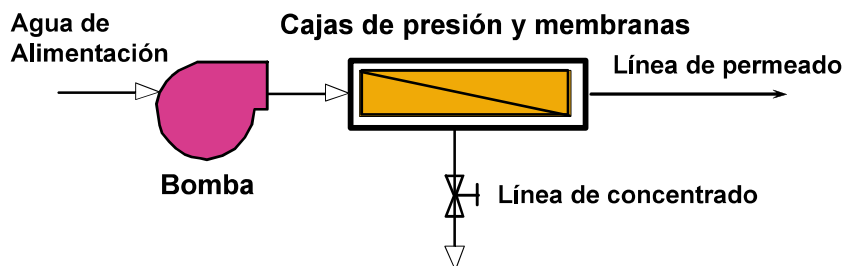


Figura 25. Aspecto de los bastidores con las cajas de presión. Por cortesía de AQUAESPaña

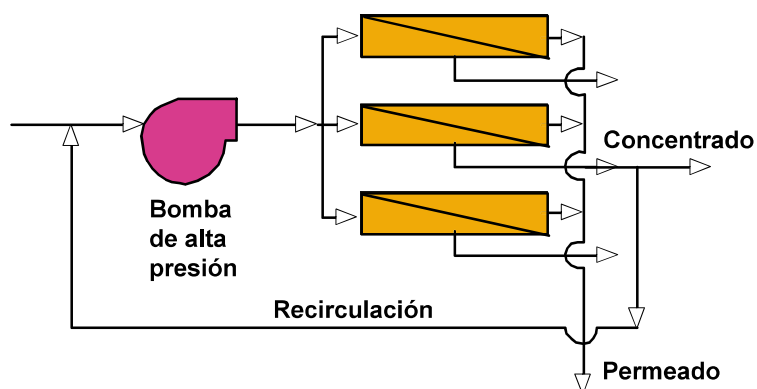


4.1.1.11. Etapas

Los elementos de ósmosis inversa van instalados en el interior de las cajas de presión unidos entre si mediante piezas o mecanismos de interconexión. El factor de conversión depende directamente de la longitud del sistema, de manera que los elementos son de longitud limitada (normalmente de 1 metro); para alcanzar unos valores aceptables de conversión, (aproximadamente el 45% en agua de mar y alrededor del 75 % en diseños de agua salobre), se hace necesaria la instalación de 6, 7 u 8 elementos en serie por cada caja de presión.

La capacidad de una planta desaladora por ósmosis inversa viene determinada por la cantidad de cajas de presión instaladas en paralelo siguiendo el esquema el siguiente:

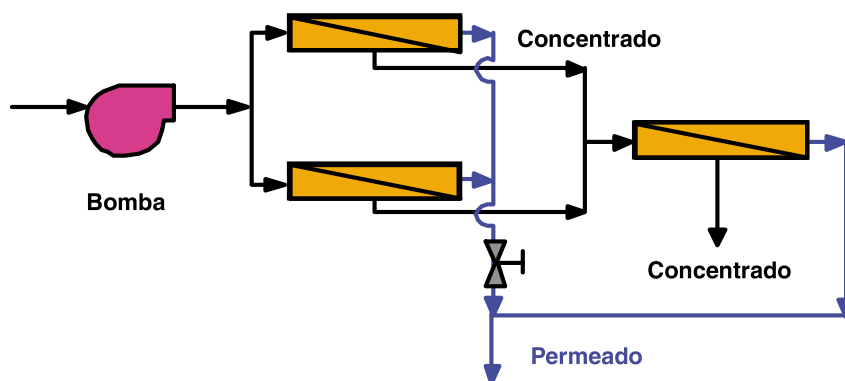
Figura 26. Diseño en una etapa



Para incrementar el factor de conversión de un sistema es posible hacer recircular parte del concentrado de nuevo a la alimentación. Esta práctica es posible en instalaciones de agua salobre pero no en las de agua de mar. Es posible ampliar el factor de conversión de un sistema aumentando su longitud y volviendo hacer pasar a la salmuera por otro sistema de ósmosis inversa adicional al que se llama «segunda etapa».

El diagrama sería el siguiente:

Figura 27. Diseño en dos etapas



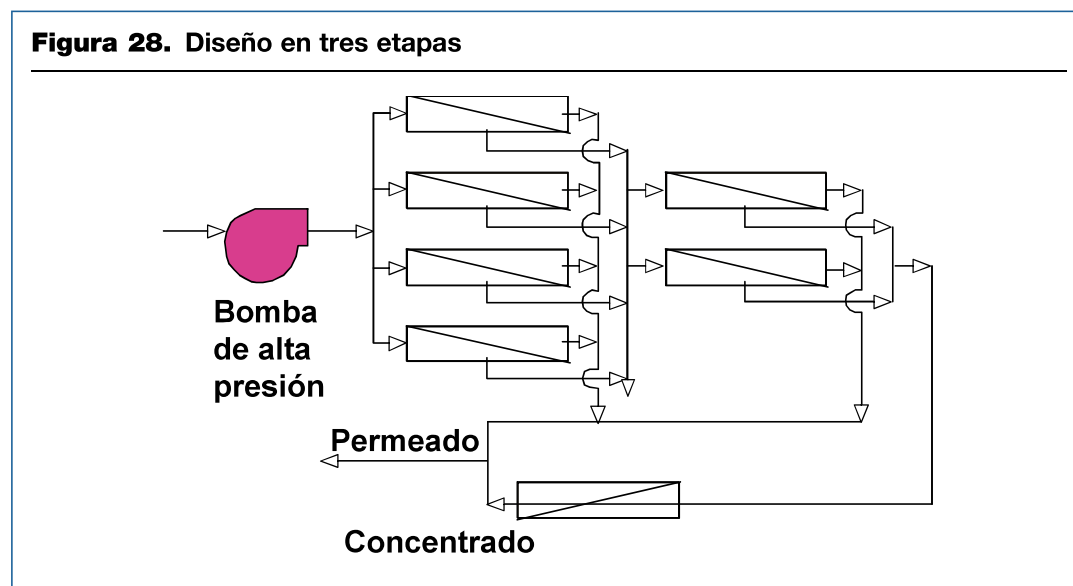
En los sistemas de dos etapas, frecuentemente se regula la presión de permeado entre la primera y la segunda etapa incrementando la presión en la primera etapa, de ese modo también se aumenta, aunque de forma indirecta, la presión sobre la segunda etapa, pudiéndose equilibrar de ese modo la producción nominal de las membranas de ambas etapas.

Con esta actuación se evitan los frecuentes problemas de desequilibrio en la producción de agua por unidad de superficie de membrana instalada.

En sistemas en los que la salinidad del agua es elevada (2 a 5 g/L), pero no son aguas marinas; en vez de lo anterior, suele instalarse una bomba de ayuda para la elevación de presión en la corriente de alimentación a la segunda etapa (bomba booster).

En este caso se logra el efecto de equilibrio en la producción específica con menor costo energético comparado y mayor eficacia global del sistema.

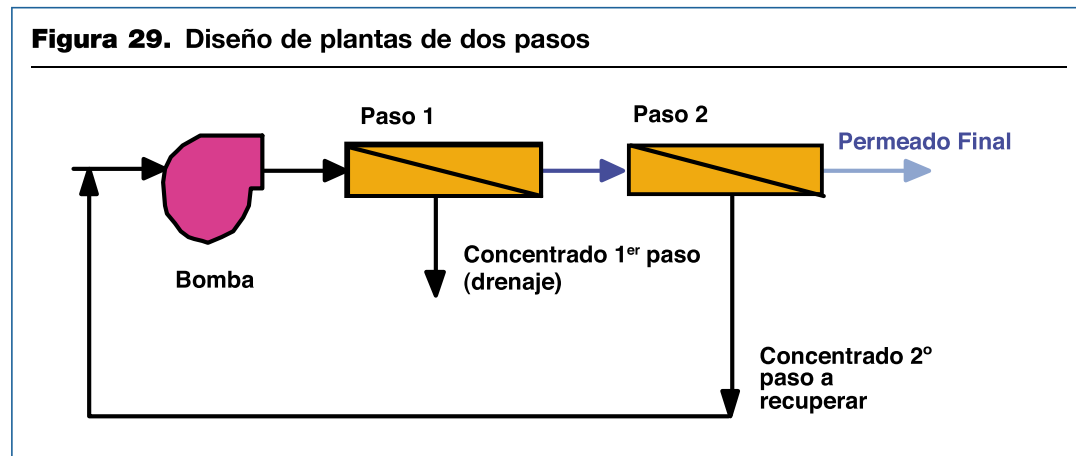
En algunos casos, sobre todo en agua salobre, puede ser necesario el diseño de sistemas de tres etapas para obtener los máximos valores de conversión:



La presión osmótica va creciendo a lo largo del sistema conforme la salinidad va aumentando. Normalmente, la presión osmótica del concentrado de la segunda etapa es ya tan alta que se hace imprescindible la instalación de otra bomba, denominada «booster», a la entrada de la tercera etapa.

4.1.1.12. Pasos

El agua a la salida de las membranas contiene una cierta cantidad de sales, ya que el rechazo de las membranas de OI nunca es del 100%. Por tanto, el agua desalada producto tiene una concentración diferente, dependiendo de la concentración del agua inicial, del factor de concentración de la salmuera, de la temperatura del agua, del tipo de membrana y del diseño realizado. Si se trabaja con agua de mar, la concentración de sales del permeado suele estar entre 200 y 300 mg/L y, si se quiere reducir este contenido salino, es necesario aplicar otra etapa de OI dando lugar a un diseño de plantas de dos pasos.



En la figura anterior se puede ver un diagrama simplificado de una planta de OI de dos pasos. El producto procedente del primer paso normalmente es sometido a un aumento de la presión mediante una bomba, llegando hasta unos 6 u 8 bares, y se introduce en unas membranas de OI de las empleadas con agua salobre. El producto de este segundo paso tendría un contenido en sales inferior a 10 mg/L. El factor de concentración de esta segunda etapa suele ser muy alto, del orden de ocho veces la inicial. El agua de rechazo del segundo paso se une al agua bruta de alimentación del primer paso.

Figura 30. Vista general de una desaladora I. Por cortesía de AEDYR



Figura 31. Vista general de una desaladora II. Por cortesía de AEDYR



Figura 32. Detalle de las cajas de presión. Por cortesía de AQUAESPANA

