

A large, light gray, stylized number '2' graphic that curves from the top right towards the bottom left, framing the title text.

# CAPÍTULO 2

## TECNOLOGÍA DE ÓSMOSIS INVERSA

Proyecto Fin de Carrera: Análisis comparativo de permeadores en plantas de desalación de agua de mar por Ósmosis Inversa : Recomendaciones sobre selección de diseños

Alumna: Mari Cruz González Pérez  
Tutora: Dra. Lourdes García Rodríguez



## ÍNDICE DE MATERIAS

ÍNDICE DE MATERIAS.....	23
ÍNDICE DE FIGURAS.....	25
<b>2.0 PRESENTACIÓN.....</b>	<b>27</b>
<b>2.1 INTRODUCCIÓN A LA ÓSMOSIS INVERSA.....</b>	<b>27</b>
<b>2.2 INSTALACIÓN DESALADORA DE ÓSMOSIS INVERSA.....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.1 Captación de agua salobre o marina.....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.2 Pretratamiento físico-químico.....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.3 Unidad de ósmosis inversa.....</b>	<b>32</b>
2.2.3.1 Bomba de alta presión.....	32
2.2.3.2 Membranas.....	33
<b>2.2.4 Recuperación energética.....</b>	<b>42</b>
<b>2.2.5 Postratamiento del agua producto.....</b>	<b>46</b>
<b>2.2.6 Equipos auxiliares.....</b>	<b>47</b>
<b>2.3 REFERENCIAS.....</b>	<b>47</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Esquema general de una instalación desaladora de Ósmosis Inversa con turbina Pelton.....	29
Figura 2.2 Unidad de Ósmosis Inversa.....	32
Figura 2.3 Membrana asimétrica integral.....	34
Figura 2.4 Membrana asimétrica compuesta.....	35
Figura 2.5 Membrana en configuración tubular.....	38
Figura 2.6 Membrana en configuración de fibra hueca.....	39
Figura 2.7 Membrana en configuración espiral.....	40
Figura 2.8 Membranas conectadas en serie.....	41
Figura 2.9 Unidad de Ósmosis Inversa con recuperación energética mediante turbina Pelton.....	43
Figura 2.10 Unidad de Ósmosis Inversa con recuperación energética mediante Turbocharger.....	43
Figura 2.11 Intercambiador de presión.....	44
Figura 2.12 Intercambiador de presión: 1ª Fase del funcionamiento.....	44
Figura 2.13 Intercambiador de presión: 2ª Fase del funcionamiento.....	45
Figura 2.14 Unidad del Ósmosis Inversa con intercambiador de presión.....	46



## 2.0 PRESENTACIÓN

En este capítulo posicionaremos la ósmosis inversa dentro del panorama actual de desalación y haremos un repaso por las principales partes de una instalación desaladora por ósmosis inversa y explicaremos en qué consiste este proceso. Incluiremos además las nuevas líneas de investigación en este campo relativas a la recuperación energética y al desarrollo de membranas de mayor área y permeabilidad.

### 2.1 INTRODUCCIÓN A LA ÓSMOSIS INVERSA

El agua de mar y el agua salobre forman un importante recurso hídrico que representa el 97% del agua total del planeta, por lo que lo hace, a través de la desalinización, una atractiva fuente de agua dulce, cada vez más demandada debido a la creciente industrialización, al uso agrícola para regadío, a las épocas de sequía y a la falta de agua dulce en determinadas zonas tales como el litoral e islas.

La desalación por ósmosis inversa se fundamenta en el proceso de ósmosis. Este fenómeno físico-químico tiene lugar cuando dos soluciones en contacto a través de una membrana semipermeable, que constituye un límite diatérmico y rígido, tienen concentraciones distintas, de manera que al existir un gradiente de potencial químico se genera un flujo de solvente de la solución hipotónica a la hipertónica hasta que se igualen los potenciales y equivalentemente las concentraciones. La diferencia de nivel entre ambas soluciones tras el equilibrio corresponde a la presión osmótica, que conforma una de las cuatro propiedades coligativas de las soluciones. Si se aplicara una presión mayor que la presión osmótica en la solución con mayor concentración, el flujo se invertiría de manera que el solvente comenzaría a fluir a través de la membrana con lo que se estaría consiguiendo la desalación del agua. Un aspecto a resaltar es que este proceso no es ideal, por lo que la desalación nunca será del 100%.

El uso de la ósmosis inversa para la desalación se está extendiendo y desarrollando en las últimas décadas debido a que es una tecnología que reduce costos de mantenimiento y operación, requiere de menos espacio y de un menor consumo energético dado que no necesita de un aporte de calor externo para cambio de fase. Presenta además un buen rendimiento, y es adaptable y apropiada para todo tipo de aplicaciones: aguas salobres, agua marina, agua residual, agua de proceso, agua potable y otros usos.

Por otra parte se están desarrollando instalaciones desaladoras de ósmosis inversa alimentadas por sistemas de energía renovables, dado que en muchas zonas con escasez de agua dulce, como son las islas y el litoral poseen un buen potencial de alguna de dichas energías, especialmente la eólica y la solar, de manera que se están desarrollando e incorporando a las instalaciones en aras de un menor consumo energético.

## **2.2 INSTALACIÓN DESALADORA DE ÓSMOSIS INVERSA**

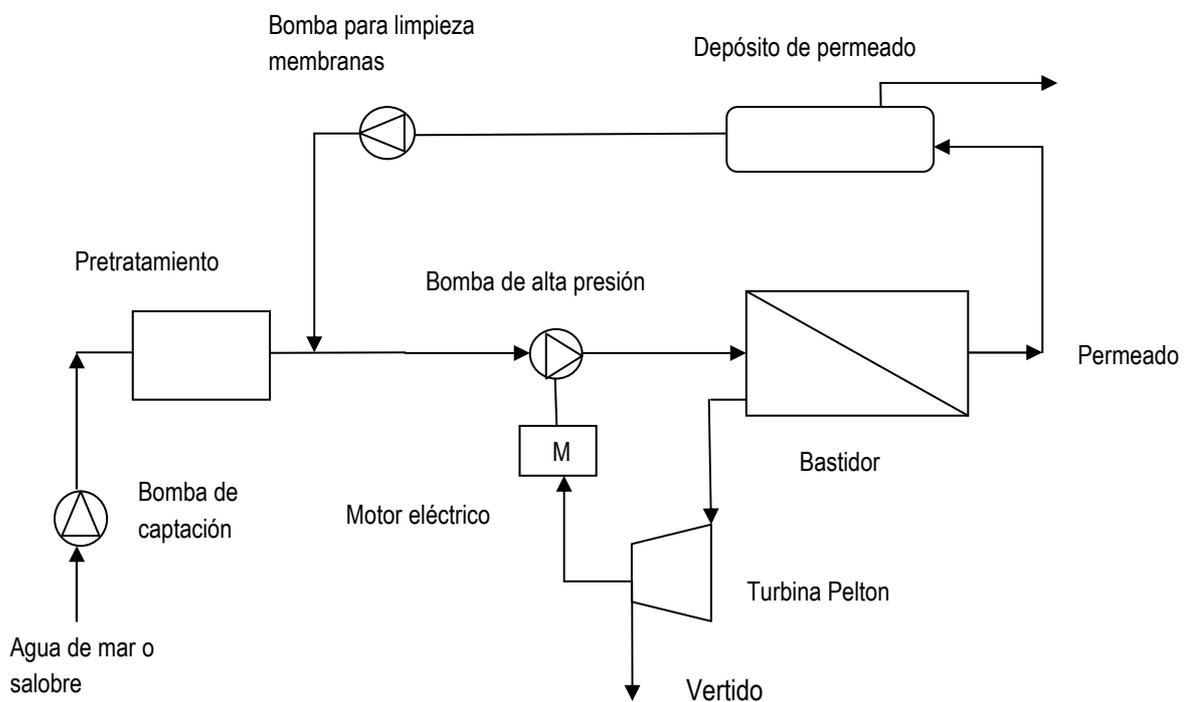
La desalación mediante ósmosis inversa, debido a la demanda actual de aguas para infinidad de procesos industriales y al consumo de una población con unas necesidades creadas en las que el agua está implicada, está en continuo desarrollo y expansión. Desde la primera planta industrial de agua potable creada en el año 1965 en Coalinga (California, USA) la tecnología ha sufrido grandes cambios en cuanto a materiales y configuraciones se refiere.

En los últimos años las líneas de investigación se centran en aumentar la relación superficie/volumen (compacidad) para aumentar la producción, en incrementar las presiones que son capaces de soportar las membranas, también encaminado a aumentar la producción y la calidad del agua, y en la recuperación de la energía que posee el rechazo, lo que supone una potencial fuente energética que puede aprovecharse.

Una planta desaladora de ósmosis inversa se puede descomponer en las siguientes unidades:

- Captación del agua salobre o marina
- Pretratamiento físico- químico
- Unidad de Ósmosis inversa
- Recuperación energética
- Postratamiento del agua producto
- Equipos auxiliares

El esquema general de una instalación de este tipo lo mostramos a continuación. Cabe resaltar que esta configuración general puede sufrir modificaciones que dependen del sistema de recuperación energética.



**Figura 2.1** Esquema general de una instalación desaladora de Ósmosis Inversa con turbina Pelton

### **2.2.1 Captación del agua salobre o marina**

El tipo de captación o toma de agua de la planta dependerá en gran medida de la capacidad de la instalación; además, la composición del agua dependerá también de la localización de la toma, lo que afectará determinadamente en el tratamiento posterior que se le dará al agua.

Existen dos tipos principales de captación de agua:

- Captación mediante toma de pozo o cántara común: debido a la permeabilidad del terreno este tipo de captación proporciona caudales pequeños de extracción, por lo que se usa en plantas con capacidades de trabajo pequeñas y medias. La actividad biológica suele ser pequeña por lo que el tratamiento físico-químico es más simple y económico y se obtiene, en general, un agua de mayor calidad. La toma de pozos se hace con perforadores y el ducto del pozo puede llegar a longitudes superiores a los 40 m.

- Captación superficial de agua de mar o mediante emisario marino: el caudal de extracción no está limitado como ocurría en el caso anterior razón por la cual se usa en instalaciones de capacidad alta. El agua extraída debe someterse a un pretratamiento más intensivo y por ende más caro, ya que se en este tipo de captación es frecuente encontrarse sólidos en suspensión y una actividad biológica mayor. El agua producto tiene una calidad inferior al tipo de toma anterior.

### **2.2.2 Pretratamiento físico-químico**

El tratamiento está enfocado a adaptar el agua extraída a unas determinadas condiciones físico-químicas y biológicas para la adecuada conservación y operación de la membrana sin que se produzcan pérdidas de rendimiento ni desperfectos.

Un pretratamiento general consta de los siguientes procesos:

- **Desbaste:** eliminación de sólidos gruesos.
- **Desinfección:** se suele usar hipoclorito sódico para eliminar la actividad biológica de los organismos que pudiera tener el agua bruta, aunque se está tendiendo a no usarlo debido a que se producen compuestos orgánicos derivados clorados nocivos para la salud.
- **Acidificación:** su función es reducir el pH hasta valores comprendidos entre 5-6 para que se haga más efectiva la cloración y disminuir los depósitos calcáreos dañinos para las membranas. Suele utilizarse ácido sulfúrico.
- **Coagulación y floculación:** se añaden reactivos químicos que hacen que las partículas coloidales se agrupen y formen flóculos que sedimenten. El coagulante más usado es el cloruro férrico.
- **Filtración:** el agua se somete a un proceso de filtrado para retener los sólidos que lleve incorporados en su seno. El filtro más usado es el lecho de arena. Los filtros consisten en depósitos horizontales o verticales en cuyo interior se encuentra el medio filtrante.
- **Decloración:** en este proceso se elimina el cloro residual procedente de la desinfección para evitar la oxidación de la membrana, y por tanto su deterioro. Suele emplearse bisulfito sódico.
- **Antiincrustante:** evita que se produzcan incrustaciones de sales con baja solubilidad. Se utiliza hexametáfosfato sódico (HMP) y polifosfatos.
- **Microfiltración:** se realiza para garantizar un filtrado mínimo del agua de 5 micras, que es el requerido por los fabricantes de membranas, de manera que al agua se le hace pasar a través de unos cartuchos filtrantes.

Dependiendo de la composición del agua bruta variará el número de etapas en el proceso global y por tanto el coste total.

### 2.2.3 Unidad de Ósmosis inversa

La unidad de ósmosis inversa es el núcleo y la parte fundamental de la instalación, ya que es en ella donde tiene lugar la desalación del agua previamente pretratada. Está compuesta por la bomba de alta presión y las membranas. Un esquema simplificado de esta unidad se presenta a continuación:

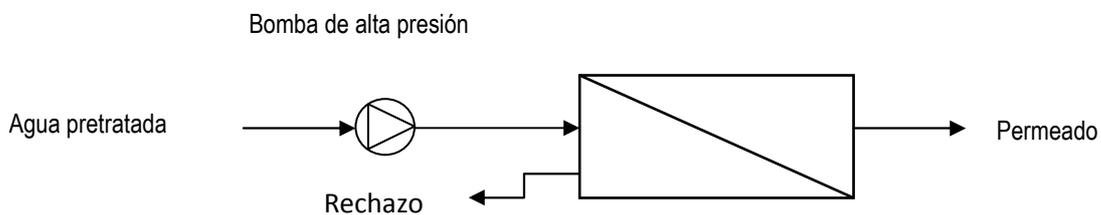


Figura 2.2 Unidad de Ósmosis Inversa

#### 2.2.3.1 Bomba de alta presión

La bomba de alta presión juega un importante papel en la planta desaladora ya que proporciona al agua, una vez pretratada, una presión (superior a la presión osmótica) adecuada para que se obtenga la producción deseada. Las presiones que suelen alcanzarse, están en torno a los 60-70 bares, aunque esta cifra varía según la bomba que se utilice y la producción que se requiera. Constituye además un consumo importante del total de la planta, de manera que la recuperación de energía, que veremos en el siguiente apartado, va encaminada a disminuir su consumo mediante la recuperación de la energía del rechazo.

El tipo de bomba que se utilice en la planta dependerá en gran medida del caudal de producción así como de la presión que deba proporcionar. Se suelen usar los siguientes tipos:

- Bombas de desplazamiento positivo de tipo pistón: son bombas muy robustas y con una alta eficiencia hidráulica 86-88 %. Sus caudales pueden ir llegar hasta unos 2400 m<sup>3</sup>/día y pueden llegar a presiones de hasta 70 bares, por lo que se usa en plantas de capacidad intermedia. Presentan problemas de mantenimiento, y son además más caras.

- Bombas centrífugas: su eficiencia es algo más baja que la anterior pero su fiabilidad y mantenimiento mayor; es la solución más adoptada. Se usa en plantas de capacidad media y alta. Cada vez más, se está usando las bombas centrífugas de cámara partida y de segmentos.

### **2.2.3.2 Membranas**

Las membranas constituyen el corazón de la planta desalinizadora, puesto que en ella tiene lugar el proceso físico de ósmosis inversa. Básicamente una membrana es una superficie con carácter selectivo que separa dos medios con distinto potencial químico y permite el paso a su través de determinados componentes y limita el de otros. El motor del transporte de componentes a su través es el gradiente de potencial químico.

Las principales características que deben tener las membranas para obtener un producto de calidad son las que siguen:

- Poseer un alto nivel de rechazo de sales.
- Tener una alta permeabilidad.
- Ser estables en un amplio rango de pH, temperatura, y agentes químicos.

- Ser capaces de poder soportar las altas presiones que proporcionan las bombas de alta presión.

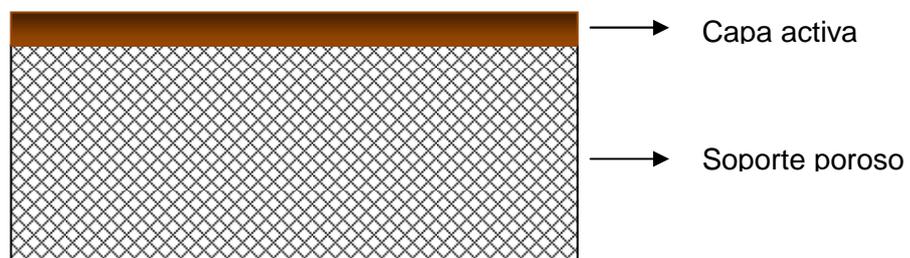
Una de las principales clasificaciones de las membranas atiende a la estructura que presenta tras un corte transversal, según esto, pueden ser asimétricas o simétricas:

- Simétricas: la membrana posee la misma estructura porosa y las mismas propiedades físico-químicas en toda su estructura.

- Asimétricas: La estructura de la membrana es heterogénea y se pueden distinguir distintas partes: una fina capa polimérica, denominada capa activa y una capa subyacente porosa, de mayor espesor y que actúa como soporte de la anterior. La capa activa, es en la que tiene lugar el proceso de ósmosis y la que presenta el carácter selectivo.

A su vez, las membranas asimétricas, pueden estar formadas por el mismo material polimérico o no:

- Asimétricas Integrales: tanto la capa activa como su soporte están formadas por el mismo material polimérico dando lugar a una capa con un espesor comprendido entre 0.1 y 1  $\mu\text{m}$ . Este tipo de membranas se elaboran por el proceso de inmersión de fases, proceso que más tarde se explicará. Una membrana de este tipo presenta la siguiente estructura:



**Figura 2.3 Membrana asimétrica integral**

- **Asimétricas compuestas:** La capa activa está compuesta por un material distinto al resto de membranas; Las membranas asimétricas compuestas se fabrican mediante el proceso de inmersión o mediante el proceso de polimerización “in situ”, procesos que como se ha indicado arriba, se explicarán más adelante. En general en estas membranas se distinguen las siguientes partes:

- **Capa superior activa:** permite el paso del disolvente, e impide el de las sales. Dicha capa suele tener, en este tipo de membranas un espesor de alrededor de 2000 Å

- **Capa intermedia:** está formada por un material poroso y distinto al de la capa activa, actúa además como soporte de dicha capa.

- **Capa inferior:** es la capa de mayor espesor, siendo también porosa y proporcionando además resistencia mecánica.

Estas membranas tienen la siguiente sección transversal:

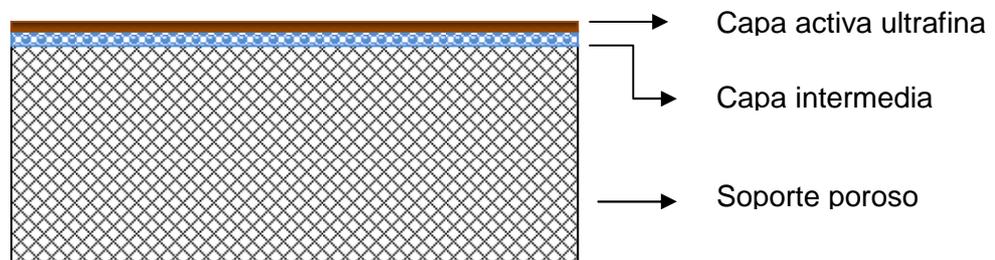


Figura 2.4 Membrana asimétrica compuesta

Las membranas más utilizadas en la Ósmosis Inversa son las asimétricas, ya que está demostrado que presentan mayor rechazo de sales además de una mayor permeabilidad al solvente, lo que les confieren una excelente selectividad.

Actualmente el desarrollo de membranas se está centrando en las asimétricas compuestas, ya que presenta las mejores características de filtración y selectividad.

Por otra parte, los principales materiales con los que se fabrican las membranas son el acetato de celulosa (AC) y los derivados de las poliamidas aromáticas (PA).

- Acetato de celulosa: las membranas de acetato de celulosa se fabrican en dos procesos; en el primero de ellos, se une una capa muy fina, que es la capa activa, compuesta de acetato de celulosa en una disolución de acetona sobre una base de poliéster no entretejido, que constituye una base porosa y con alta permeabilidad; posteriormente el conjunto se mete sobre un baño de agua a una temperatura de entre 60 y 90° C. Esta última etapa es en la que se mejora la permeabilidad y la selectividad de la membrana.

- Poliamidas aromáticas: las membranas compuestas por poliamidas aromáticas también se fabrican en dos etapas; la primera etapa se una base de polisulfona con carácter no selectivo y con alta porosidad con una base de poliéster no entretejido, poroso y permeable. Tras esta etapa se añade sobre la base de polisulfona una fina película selectiva y permeable que constituye la capa activa. Esta última etapa se lleva a cabo mediante el proceso de polimerización interfacial, el cual explicaremos tras hacer una comparación entre los dos principales materiales de las membranas.

Las membranas de poliamidas aromáticas presentan una mejor combinación de paso de solvente y rechazo de sales que las de acetato de celulosa. Por el contrario, las membranas de acetato de celulosa son más tolerantes al cloro libre, ya que sufren menor degradación de la que sufrirían las de poliamidas. Esto hace a las de acetato más estables en aguas que tienen un

alto grado de ensuciamiento, como pueden ser las aguas residuales o industriales.

A continuación vemos los métodos de preparación de la capa activa:

- Inversión de fase: en este método, una disolución de polímero, un disolvente y un no disolvente sufre dos procesos; el primero de ellos es una nucleación y crecimiento de poros, que formarán la capa subyacente porosa de las membranas asimétricas integrales. En el segundo de los procesos, las macromoléculas forman agregados para formar la capa activa.

Si a este conjunto se le añade una base porosa que confiera consistencia, se tendrá una membrana asimétrica compuesta.

- Polimerización interfacial: esta técnica se lleva a cabo mediante una policondensación de dos fases miscibles que dan lugar a dos capas: la capa activa y la capa intermedia. Este proceso de policondensación se realiza sobre una base porosa que confiera resistencia al conjunto.

Además de estas clasificaciones de las membranas existe otra, que las distingue según su configuración. Atendiendo a esta tipificación hay cuatro tipos fundamentales de membranas:

- Plana
- Tubular
- Arrollamiento en espiral
- Fibra hueca.

Las plantas desaladoras de Ósmosis inversa se diseñan con algunos de estos tipos de membranas, las cuales se agrupan y forman módulos. Estos módulos constituyen un factor económico importante a tener en cuenta en el diseño y posterior construcción de las plantas; algunos de estos aspectos económicos a tener en cuenta son:

- Alta compacidad (relación superficie / volumen)
- Fácil limpieza y mantenimiento

- Reposición económica

A continuación vemos con detalle cada uno de estos tipos enumerados más arriba:

- Configuración plana: está constituida por láminas planas sobre unas placas rígidas, circulares o rectangulares, apiladas entre sí y que se encuentran dentro de un tubo en cuya superficie existen orificios por los que entra el agua de alimentación o bien, dicha superficie puede estar formada por fibra de vidrio poroso. El agua de alimentación entra por uno de los extremos del tubo, atraviesa las membranas y el rechazo es conducido por unos canales hacia un tubo interior que descarga por el otro extremo de la membrana, mientras que el permeado sale por el lateral.

Esta configuración se usa en procesos químicos y en la industria alimenticia; su uso está limitado ya que tienen una baja compacidad, lo que se traduce en un alto coste de inversión. Las principales ventajas de la disposición plana son que son fáciles de limpiar y el pretratamiento es más simple.

- Configuración tubular: es la configuración más simple. Se trata de un tubo poroso, en cuyo interior se modela la membrana. El agua de alimentación entra por un extremo del tubo, el permeado atraviesa la membrana y el tubo poroso y va saliendo por el lateral, y el rechazo sigue el curso del tubo y sale por el otro extremo.



Figura 2.5 Membrana tubular [4]

Se usan con aguas de elevada turbiedad, ya que al igual que la anterior configuración, presenta la ventaja de ser fácilmente limpiable. Por contra, su compacidad es baja, y por tanto el coste de plantas con esta configuración es elevada.

- Fibra hueca: las membranas, en forma de U, forman un haz que se encuentran en el interior de un tubo. Las fibras huecas son finas como un cabello, de diámetro exterior de unos 40  $\mu\text{m}$  y de diámetro interior de 20  $\mu\text{m}$ , y están alrededor de un tubo poroso cuya misión es distribuir el agua de alimentación. Dicha agua de alimentación, atraviesa radialmente las fibras; el permeado, a su vez, fluye por el interior de las fibras y descarga a un tubo que recoge el producto de todas las fibras. El rechazo queda por el exterior de las fibras y es recogido en otro conducto.

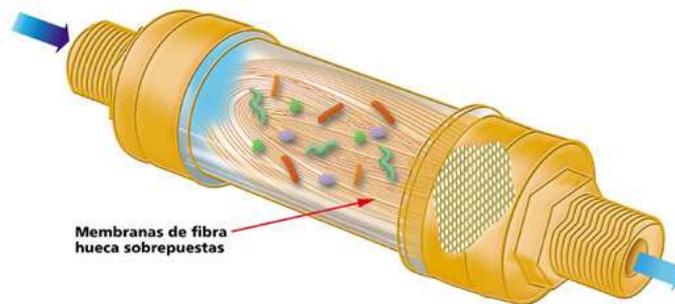


Figura 2.6 Membrana de fibra hueca [2]

Se usa en desalación de aguas salobre y agua marina.

La principal limitación de esta configuración es lo sensibles que son al ensuciamiento, dado que entre las fibras existe una separación mínima susceptibles de ensuciarse. Por este mismo motivo, el pretratamiento en plantas con esta configuración resulta clave. Además, sus costes de fabricación son elevados, superiores a los de arrollamiento en espiral.

La fibra hueca posee la máxima compacidad de entre todas las configuraciones, por lo que tienen una gran productividad en relación con el volumen que ocupa.

- Arrollamiento en espiral: consiste en dos capas de membranas paralelas, con sus capas activas opuestas, y dando al exterior. La separación que queda entre ellas está compuesta por un material poroso, esto conforma una envolvente flexible que además está cerrado por tres de sus extremos, el cuarto lado queda abierto y comunica con un tubo central que recoge el permeado de todas las envolventes. Entre dos envolventes, existe una malla de material plástico y espesor entre 0.75 y 1.10 mm, encargada de distribuir la corriente alimentación-rechazo y de crear un flujo turbulento que evite que en la capa activa de la membrana se deposite un exceso de concentrado que limite el flujo de agua a su través, este fenómeno se conoce como polarización.



Figura 2.7 Membrana de arrollamiento en espiral [5]

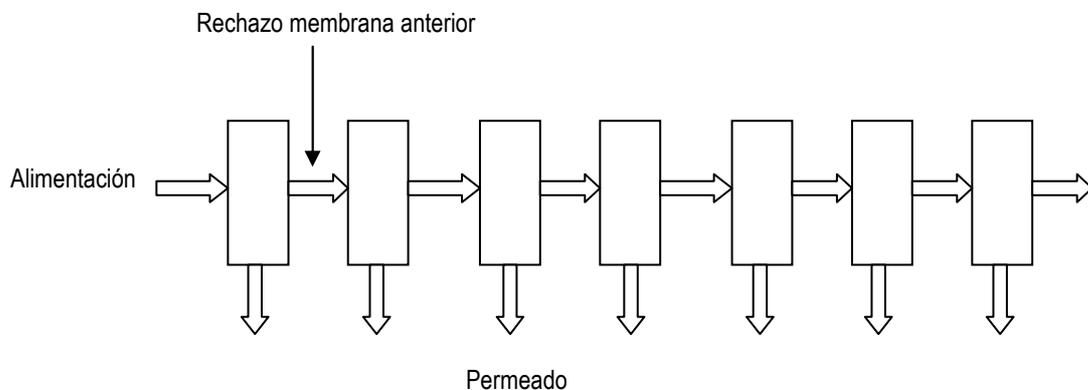
Los fabricantes de membranas, para evitar tal efecto limitan el factor de conversión (relación entre el caudal de permeado y el caudal de alimentación) y el caudal de alimentación. Al limitar el factor de conversión se está limitando el caudal de producto; lo que se hace para aumentar la producción es colocarlos en serie, y el rechazo de una membrana es la alimentación de la siguiente.

Varias envolventes se arrollan en espiral a través de un tubo central, que es el mismo que recoge el permeado, y el conjunto se introduce en un recipiente que debe ser capaz de soportar las presiones de trabajo.

La configuración de arrollamiento en espiral, posee una elevada compacidad, aunque no llega a las de fibra hueca, son más económicas, mayor facilidad para la limpieza, tanto por vía química como hidráulica, esto permite que se puedan utilizar con aguas más cargadas, son más fáciles de reponer, y un mejor control de calidad; esto las hace las más utilizadas de entre todas las configuraciones.

El inconveniente que presenta es que no se pueden utilizar aguas con excesiva turbiedad, ya que las secciones de paso del agua son pequeñas y por tanto susceptibles de ensuciamiento.

Las membranas, al tener una producción limitada se conectan en serie dentro de un tubo cilíndrico de presión denominado permeador o tubo portamembranas. El número de membranas en cada uno de estos tubos variará según el tipo de membrana del que se trate, aunque el número estándar es de siete membranas. Como se ha dicho más arriba, la conexión es en serie, de tal forma que el rechazo de una membrana es la alimentación de la siguiente, y así sucesivamente hasta el último elemento. Por otra parte una agrupación de permeadores constituye un bastidor. En el siguiente esquema podemos ver esta configuración:



**Figura 2.8 Membranas conectadas en serie**

Existen varios fabricantes de membranas, entre los que destacan las firmas Filmtec-Dow Chemical (estadounidense), Fluid Systems-Koch (estadounidense), Hydranautics (estadounidense), Ropur-Toray (estadounidense) y Permetec (española). Las membranas sólo pueden interconectar entre ellas si son de la misma firma.

#### **2.2.4 Recuperación energética**

El rechazo o salmuera sale a una presión algo inferior a la presión de alimentación debido a una pequeña pérdida de carga que se produce en el proceso de ósmosis. Este flujo representa una potencial fuente de energía que puede incorporarse al proceso de ósmosis y conseguir una optimización de la planta, lo que se traduce en un importante ahorro energético y por tanto económico.

Existen varios sistemas de recuperación energética, entre los que destacan la turbina Pelton, el conjunto Turbocharger y el intercambiador de presión.

- Turbina Pelton: el rechazo a su salida de la unidad de ósmosis se dirige a la turbina Pelton, donde la energía de presión se transforma en energía mecánica, que a través de un motor pasa a energía eléctrica; dicha energía eléctrica se emplea para accionar la bomba de alta presión. Se usa para plantas de capacidad media-alta, y son de fácil mantenimiento. En lugar de la turbina Pelton podríamos encontrar una bomba invertida, aunque esta opción cada vez se usa menos, dado que la turbina Pelton tiene mayor rendimiento. En ambos casos el esquema sería el mismo:

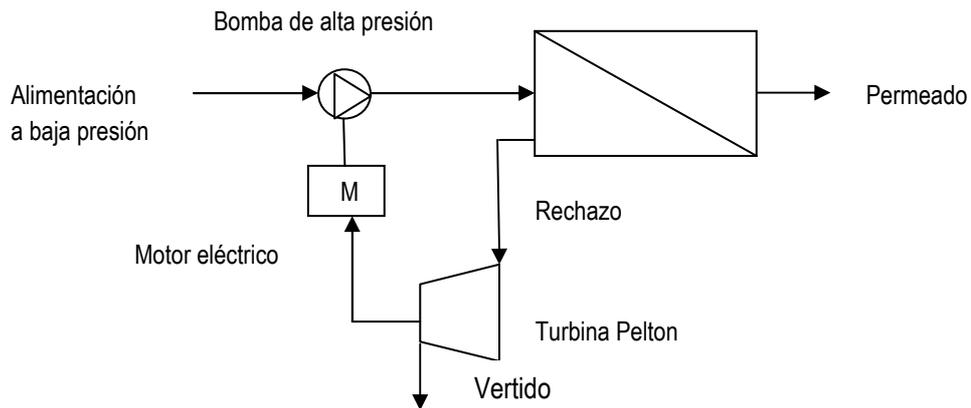


Figura 2.9 Unidad de Ósmosis Inversa con recuperación energética mediante turbina Pelton

- Turbocharger: este sistema está compuesto por una turbina y una bomba acopladas, de manera que no se necesita de un motor adicional. El rechazo entra al turbocharger y transforma su energía en energía mecánica, que se emplea en mover la bomba de alta presión. Se utiliza para plantas de capacidad de producción pequeña y media. El esquema general de recuperación energética de una planta con turbocharger es el siguiente:

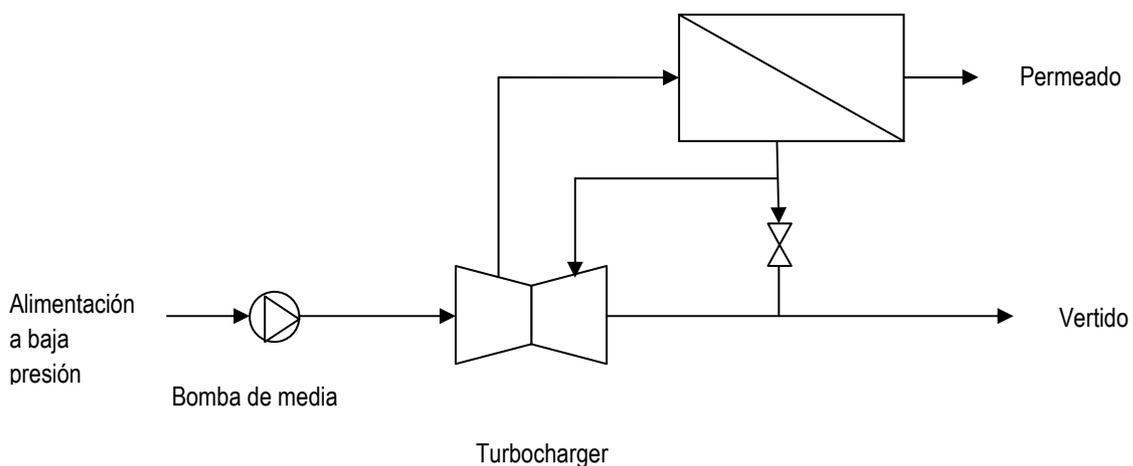


Figura 2.10 Unidad de Ósmosis Inversa con recuperación energética mediante Turbocharger

- Intercambiador de presión: el intercambiador de presión o cámara isobárica está formado por una cámara en cuyo interior se encuentra un pistón que es el encargado de transferir la energía de presión de un flujo a otro y un juego de válvulas. Para explicar su funcionamiento nos basaremos en la siguiente figura:

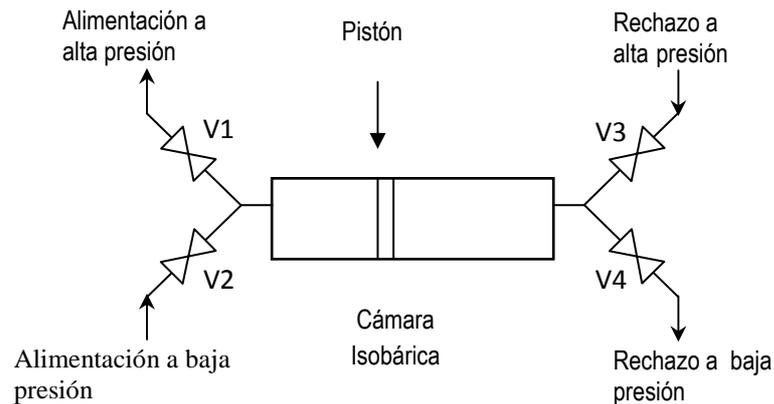


Figura 2.11 Intercambiador de presión

El funcionamiento se puede dividir en 2 fases:

1ª Fase: La válvula V2 y la válvula V4 están abiertas, de forma que en la cámara está entrando agua de alimentación a baja presión y está saliendo el rechazo residual de baja presión de la etapa anterior.

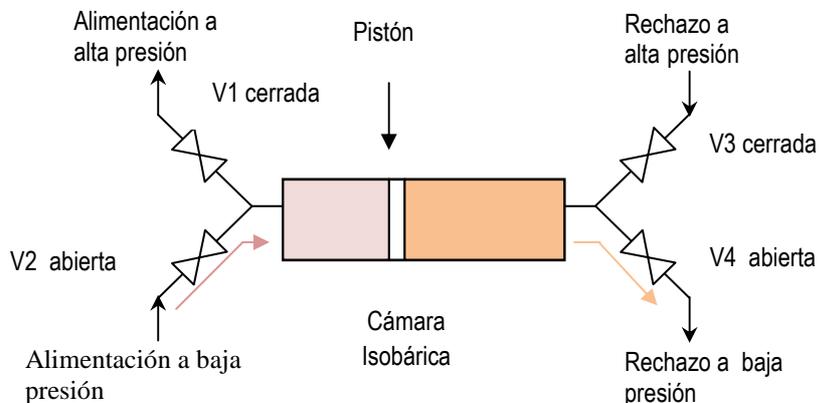


Figura 2.12 Intercambiador de presión: 1ª Fase del funcionamiento

2ª Fase: la cámara se termina llenando de la alimentación a baja presión, y una vez lleno, se abren las válvulas V1 y V3, de manera que el rechazo a alta presión entra en la cámara y le cede su presión, a través del pistón su energía a la alimentación, que sale a alta presión a través de la válvula V1.

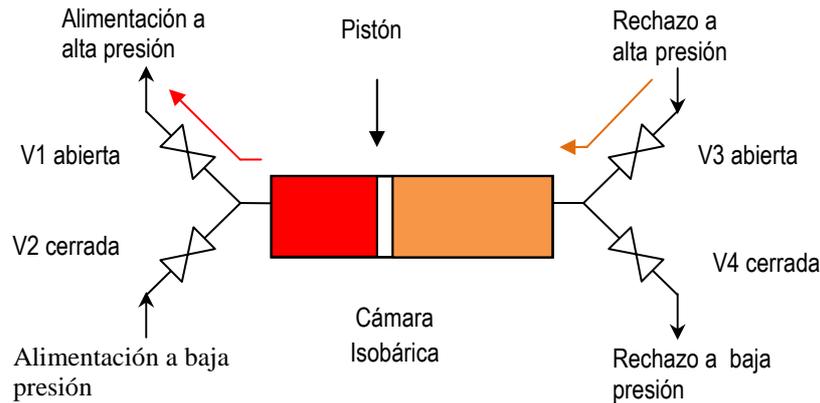


Figura 2.13 Intercambiador de presión: 2ª Fase del funcionamiento

El intercambiador de presión se está implantando en gran número de instalaciones y su uso está en expansión debido a que su rendimiento es bastante elevado, del 98% en un amplio rango de operación, lo que reduce considerablemente el consumo de la bomba de alta presión. Por otra parte, el caudal de agua al que se le cede la energía en el intercambiador es semejante al de rechazo, por lo que la bomba de alta presión trabaja con un caudal igual al del permeado, lo que reduce considerablemente su tamaño.

Algunos fabricantes de intercambiadores de presión son lo Energy Recovery Inc (estadounidense), R.O Kinetic (española) y Pressure Exchange System de la empresa alemana SIEMAG.

Una planta con intercambiador de presión, adopta la siguiente configuración:

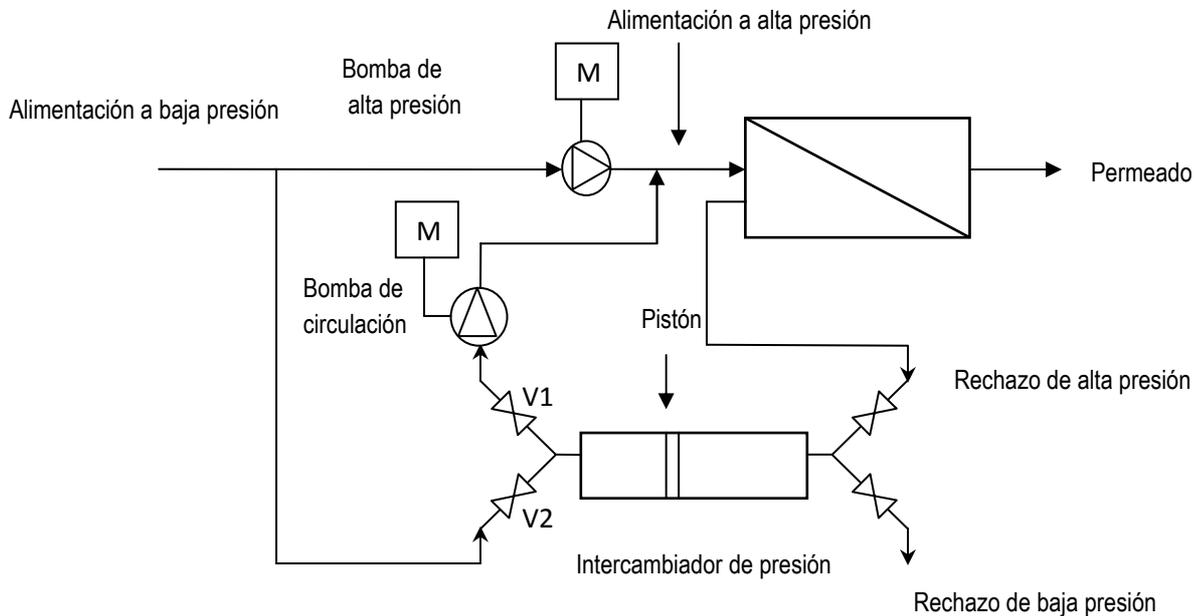


Figura 2.14 Unidad del Ósmosis Inversa con intercambiador de presión

Como podemos observar existe una bomba de circulación a la salida del intercambiador de presión que proporciona la pérdida de carga que haya podido tener lugar en el proceso de intercambio de energía en la cámara isobárica.

## 2.2.5 Postratamiento del agua producto

El postratamiento se realiza en base a conseguir el pH del agua dentro de 6,5-8,5 para que sea potable, para lo que se añade hidróxido sódico o hidróxido cálcico. También se añade hipoclorito sódico para su desinfección.

## 2.2.6 Equipos auxiliares

Entre los equipos auxiliares se encuentran la bomba de captación del agua, así como la bomba de limpieza de membranas, que sirve además para proporcionar agua a las membranas en caso de parada de la planta para evitar su deterioro, y bombas de limpieza de los filtros del pretratamiento.

## 2.3 REFERENCIAS

1. A. M. Delgado Torres, Diseño preliminar de un sistema de desalación por ósmosis inversa mediante energía solar térmica, Tesis Doctoral, Universidad de La Laguna, 2006.

2. Membranas de fibra hueca (Europa) ([http://www.europa.com.br/tecnologia/sistema\\_hf\\_esp.asp](http://www.europa.com.br/tecnologia/sistema_hf_esp.asp)), Diciembre 2010.

3. Instituto Euromediterráneo del agua, Desalación de aguas. Aspectos tecnológicos, medioambientales, jurídicos y económicos, Fundación Instituto Euromediterráneo del agua, España, 2009.

4. Membranas tubulares (Water treatment solutions LENNTECH) (<http://www.lenntech.es/membranas-tubulares.htm>), Diciembre 2010.

5. Membranas en espiral (MMS Iberica) (<http://www.mmsiberica.com/membranas.htm>), Diciembre 2010.

6. V. Romero-Ternero, Análisis termoeconómico de la desalación de agua de mar mediante ósmosis inversa con aplicación de energía eólica, Tesis Doctoral, Universidad de La Laguna, 2003

7. J. M. Veza, Introducción a la Desalación de aguas, Las Palmas de Gran Canaria: Servicio de Publicaciones de la ULPGC, España, 2002.

