



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 299 455**

51 Int. Cl.:
B01D 61/02 (2006.01)
C02F 1/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **01121447 .5**
86 Fecha de presentación : **12.10.1995**
87 Número de publicación de la solicitud: **1161981**
87 Fecha de publicación de la solicitud: **12.12.2001**

54 Título: **Procedimiento de separación por ósmosis inversa en varias etapas.**

30 Prioridad: **12.10.1994 JP 6-246184**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.06.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.06.2008

73 Titular/es: **TORAY INDUSTRIES, Inc.**
2-1, Nihonbashi Muromachi 2-chome
Chuo-ku, Tokyo 103, JP

72 Inventor/es: **Yamamura, Hiroyuki;**
Kurihara, Masaru y
Maeda, Katsunosuke

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 299 455 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de separación por ósmosis inversa en varias etapas.

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un nuevo aparato para la separación por ósmosis inversa y a un método diseñado en particular para soluciones de alta concentración. Esta invención hace posible la obtención de una solución de baja concentración, a partir de una solución de alta concentración, con una alta relación de recuperación y empleando poca energía, al mismo tiempo que permite la producción de un concentrado de mayor concentración con menos energía que con una separación de ósmosis inversa convencional. En particular, el aparato y método de esta invención se puede utilizar para desalinización de aguas salobres y agua de mar, tratamiento de aguas residuales, recuperación de material valioso, etc. La invención es particularmente eficaz para desalinización o concentración de solución de alta salinidad.

15 Antecedentes de la invención

Existen bastantes técnicas para la separación de soluciones. En años recientes se ha utilizado mucho la separación con membranas, debido a que requiere menos energía y menos recursos. Entre las técnicas de separación con membrana están la microfiltración (MF), ultrafiltración (UF) y ósmosis inversa (RO). Más recientemente, se ha utilizado la RO libre o nanofiltración (NF), entre cuyas funciones están las de la ósmosis inversa y la de ultrafiltración. La ósmosis inversa, por ejemplo, se utiliza hoy día para desalinización de agua del mar o aguas salobres para proporcionar agua para usos industriales, agrícolas y domésticos. Con la ósmosis inversa, se ejerce una presión más alta que la presión osmótica sobre el agua salada para que pueda permear la membrana de ósmosis inversa para obtener el agua desalada. Esta técnica puede producir agua potable a partir de agua de mar, salmuera o agua que contiene sustancias tóxicas, y ha sido utilizada para la preparación de agua ultra-dura para uso industrial, tratamiento de aguas residuales y recuperación de materiales útiles.

La producción de agua dulce a partir del agua de mar por ósmosis inversa tiene la ventaja de que no supone una fase de transición tal como se encuentra en la evaporación. Además, requiere menos energía y menos mantenimiento de la operación, lo que ha ampliado su uso en años recientes.

Para la separación de una solución por ósmosis inversa, es necesario suministrar una solución a la membrana de ósmosis inversa con una presión mayor que el potencial químico (que puede expresarse en términos de presión osmótica) de la solución que depende del contenido del soluto en la solución. Cuando se utiliza un módulo de membrana de ósmosis inversa para la separación de agua de mar, por ejemplo, se requiere una presión superior a 30 atmósferas, o más prácticamente una presión por encima de 50 atmósferas. No puede obtenerse la realización de una separación suficiente por ósmosis inversa a una menor presión que ésta.

En lo concerniente a la desalinización del agua de mar a través de membrana de ósmosis inversa, por ejemplo, la recuperación del agua de mar permeable en la desalinización convencional del agua de mar no es más de un 40%. La concentración del agua de mar en el módulo de membrana de ósmosis inversa aumenta de 3,5% a 6% obteniéndose un volumen de agua dulce igual a 40% del agua de mar suministrada a través de la membrana. Se requiere una presión mayor que la presión osmótica correspondiente a la concentración del concentrado (45 atm para concentrado al 6% de agua de mar) para conseguir una relación de recuperación de agua por permeado del 40%. En la práctica, es necesaria una presión de aproximadamente 20 atm más que la presión osmótica, lo que corresponde a la concentración del concentrado (llamada presión eficaz) para producir suficiente agua dulce que puede utilizarse como agua potable. Según esto, la separación con membrana de ósmosis inversa para desalinización de agua de mar se ha llevado a cabo convencionalmente a presión de 60-65 atm para conseguir una relación de recuperación del 40%.

Es más deseable una recuperación (relación de recuperación) más alta del agua permeable ya que la relación de recuperación afecta directamente al requerimiento de costes. Convencionalmente, sin embargo, ha habido límites para la mejora de la relación de recuperación. Esto significa que una relación de recuperación incrementada puede requerir una presión muy alta. Además, al aumentar la concentración de componentes del agua de mar y a condiciones de operación de relación de recuperación más alta, el contenido de componentes de incrustaciones tales como las de carbonato de calcio, sulfato de calcio, sulfato de estroncio y otras sales se deposita sobre el reverso de la membrana de ósmosis inversa como incrustaciones causando obturaciones.

En la relación de recuperación de aproximadamente 40% (que ahora es ampliamente reconocida como relación de recuperación máxima en la práctica), es improbable que tales incrustaciones puedan formarse en cantidad significativa y por tanto no se requieren medios especiales frente a ellas. Si se intenta realizar una operación de separación de ósmosis inversa a una relación de recuperación más alta, se tendrá que añadir un agente de prevención de incrustaciones que incremente la solubilidad de sales, con el fin de controlar los depósitos de estos componentes de incrustaciones. A pesar de la adición de tal agente de prevención, sin embargo, el control de los depósitos de los citados componentes de incrustaciones es eficaz solamente para incrementar la concentración del concentrado en 10-11 puntos porcentuales. Para la desalinización de agua de mar de una concentración de sales de un 3,5%, un análisis de equilibrio de masas indica una relación de recuperación límite de 65-68%. Teniendo en cuenta los efectos de varios otros componentes del agua de mar, el límite práctico de la relación de recuperación al que puede funcionar establemente una instalación de desalinización de agua de mar por ósmosis inversa será de aproximadamente un 60%.

ES 2 299 455 T3

En un proceso de desalinización del agua de mar en la práctica, se tendrá que aplicar una presión de aproximadamente 20 atmósferas más alta que la presión osmótica del concentrado sobre la membrana de ósmosis inversa, como se ha establecido antes. Cuando la concentración de sales del agua de mar se supone de un 3,5% y la relación de recuperación del 60%, la concentración de sal resulta del 8%, lo que corresponde a una presión osmótica de aproximadamente 70 atmósferas. Según esto, ha de aplicarse una presión de aproximadamente 90 atmósferas a la membrana de ósmosis inversa.

En la práctica, varios elementos de ósmosis inversa conectados en serie se cargan en una vasija de presión, que es conocida como módulo, y la instalación está constituida por muchos módulos de estos. La relación de recuperación de una instalación de desalinización de agua de mar se define como la relación de permeación total de agua al total de agua de mar suministrada a los módulos de ósmosis inversa. En una instalación ordinaria, dado que los módulos se instalan en paralelo, la relación de recuperación es igual a la relación del agua desalada obtenida desde un módulo a suministro de agua del mar a ese módulo. En el caso de que un módulo contenga seis elementos de membrana de ósmosis inversa y de que se suministre 198 m³/día de agua de mar al módulo, para producir 78 m³/día de agua desalada (relación de recuperación del 40%), una simulación muestra que 18-19 m³/día y 15-17 m³/día de agua desalada procede de los elementos primero y segundo, respectivamente, seguido de cantidades decrecientes de los restantes elementos para producir un total de agua desalada de 78 m³/día. Según esto, en total, el agua desalada se obtiene del módulo completo a una recuperación del 40% a pesar de la pequeña relación de recuperación de agua desalada para cada elemento.

La prevención de incrustaciones y polarización de la concentración (localización del soluto) es un factor importante a considerar en el establecimiento de las condiciones de operación de un proceso de separación por membrana de ósmosis inversa. Para evitar las incrustaciones, la velocidad de producción de agua desalada de un elemento deberá ser controlada de manera que esté por debajo de un cierto límite (flujo permisible resistente a incrustaciones). Si la velocidad sobrepasa este límite, las incrustaciones sobre la membrana se aceleran causando problemas. El flujo permisible, resistente a incrustaciones para membranas de ósmosis inversa de alto rendimiento está generalmente en las proximidades de 0,75 m³/día que corresponde a un rendimiento de 20 m³/día para un elemento de membrana de ósmosis inversa con un área de membrana de 26,5 m² (el área de membrana de un elemento se supone 26,5 m² en todos los cálculos que se dan después). Según esto para evitar las incrustaciones, deberá controlarse la velocidad de producción del agua desalada de un elemento para que sea por debajo de 20 m³/día.

La velocidad del suministro de agua a los elementos del módulo decrece a medida que el agua fluye desde los elementos de arriba a los de abajo.

La polarización de la concentración antes citada se debe a la disminución de la velocidad de flujo del agua suministrada a través de la membrana en el elemento final. La polarización de la concentración no solamente reduce el funcionamiento de la membrana sino que también acelera las incrustaciones acortando la vida del elemento de membrana de ósmosis inversa. Para evitar esto, la velocidad de flujo del concentrado en el elemento final (con un área de membrana de 26,5 m²) deberá de mantenerse por encima de aproximadamente 50 m³/día.

Cuando una instalación de desalinización de agua de mar por membrana de ósmosis inversa se va a hacer funcionar a una relación de recuperación máxima convencional de aproximadamente 40%, se pueden satisfacer fácilmente las condiciones de prevención de incrustaciones y polarización de la concentración antes citadas y la operación se puede llevar a cabo establemente por simple disposición de varios módulos en paralelo, aplicando una presión de 65 atmósferas (cuando la temperatura es de 20°C), y fijando la velocidad de suministro de agua a 2,5 veces la velocidad de producción de agua desalada final. No se necesita considerar de forma especial el equilibrio entre las velocidades de flujo o el depósito de incrustaciones de los elementos en cada módulo.

Es esencial, sin embargo, una relación de recuperación incrementada para reducir además el coste del proceso de desalinización por membrana de ósmosis inversa. Como se ha descrito antes, es deseable un incremento de hasta el 60% para la desalinización de agua de mar con una concentración de 3,5%. Después de añadir una cantidad apropiada de un agente de prevención de incrustaciones, la instalación ha de funcionar a 90 atmósferas, es decir 20 atmósferas más alta que la presión osmótica del concentrado.

Los agentes de prevención de incrustaciones han sido ya utilizados en algunos aparatos de membrana de ósmosis inversa tal como aquellos que se emplean en instalaciones de tratamiento de aguas y aparatos de desalinización de agua del mar que usan evaporación. Están diseñados, sin embargo, principalmente para controlar el depósito de componentes de incrustaciones tales como sílice y sales metálicas dentro del aparato. En particular, estos agentes se han utilizado mucho para tratar aguas con un alto contenido de sílice formadora de incrustaciones.

Por ejemplo, la Patente japonesa abierta (Kokai) SHO53-30482 propone que la vida de la membrana de ósmosis inversa puede alargarse cuando se lleva a cabo la operación de ósmosis inversa después de reducirse los contenidos de calcio, magnesio, etc. dejando que el agua suministrada se ponga en contacto con una resina quelato. La Patente japonesa abierta (Kokai) SHO52-151670 y HEI 4-4022 describe un método en que se añade un fosfato para evitar la formación de incrustaciones en el aparato de ósmosis inversa. Las Patentes japonesas abiertas (Kokai) SHO63-218773 y HEI 4-99199 y Publicación de Patente japonesa (Koho) HEI 5-14039 proponen un método en el que se concentra un agua residual procedente de recubrimientos por electrodeposición y procesos de cobreado sometiéndola a tratamiento de membrana de ósmosis inversa después de añadir un agente quelante para recuperar el material de recubrimiento y el cobre. Además, las Patentes japonesas abiertas (Kokai) SHO63-69586 y HEI 2-293027 describen que se puede

ES 2 299 455 T3

conseguir la esterilización y funcionamiento estable del aparato de membranas de ósmosis inversa por suministro de una solución que contiene cloro o una mezcla de un oxidante y un fosfato.

5 Sin embargo, si, como en los aparatos convencionales, se colocan varios elementos de membrana de ósmosis inversa en serie en un recipiente a presión para formar un módulo, y se aplica una presión de 90 atmósferas a varios de estos módulos dispuestos en paralelo, para conseguir una relación de recuperación de agua desalada del 60%, la velocidad de flujo del agua tratada desde los elementos corriente arriba (elementos primero y segundo) en cada módulo sobrepasará el valor permisible para causar polarización de la concentración e incrustaciones en estos elementos, lo que lleva a obturaciones y reducción de la vida útil de los elementos. Como resultado de ello, será muy difícil que funcione el aparato de membranas de ósmosis inversa de forma estable en un período de tiempo largo. En un proceso de salinización de agua de mar que trabaje a una relación de recuperación del 60%, la concentración de sal y la presión osmótica varían de 3,5% a 8,8% y de 26 atmósferas a 70 atmósferas debido a los requerimientos de equilibrio de materiales a medida que fluye el agua desde la entrada a la salida. La presión de operación, por otra parte, es casi constante a lo largo de todo el proceso desde la entrada a la salida, lo que indica que la presión eficaz requerida para la permeación de agua desalada (es decir, la diferencia entre la presión de operación y la presión osmótica) varía ampliamente de 64 atmósferas a 20 atmósferas. La relación de permeación a través del primer elemento hasta el elemento final del mismo módulo es del orden de la relación de la presión eficaz, es decir: 64:20. Según esto, en instalaciones convencionales, la velocidad de permeación en el primer elemento puede sufrir un agudo incremento permitiendo que la velocidad total de permeación sobrepase ampliamente el límite permisible resistente a incrustaciones de 20 m³/día, lo que significa que se forman incrustaciones muy fácilmente. Es imposible, sin embargo, reducir la presión de operación debido a que la presión de operación de 90 atmósferas es esencial para conseguir una relación de recuperación del 60%. Esto indica que la operación a una relación de recuperación del 60% no sería apropiada y si se intenta a pesar de estas consideraciones, se aceleraría la formación de incrustaciones y sería imposible un funcionamiento estable a largo plazo. O bien tendría que llevarse a cabo la operación a una relación del 60% con condiciones de operación muy costosas que pueden incluir el empleo de un gran número de elementos de bajo rendimiento con una reducida velocidad de permeación.

En la anterior descripción, se consideran elementos de membrana de ósmosis inversa del tipo en espiral con propósito de simplificación. Los mismos fenómenos y problemas, sin embargo, aparecerán también en módulos tipo membrana de fibra hueca.

Son conocidos asimismo los aparatos de separación por ósmosis inversa, en que la presión de operación no es constante a lo largo de todo el proceso. Por ejemplo, la Patente japonesa abierta (Kokai) SHO54-31088 y SHO61-192307 describe la conexión de una pluralidad de unidades de módulo de membrana de ósmosis inversa que tienen igual área de membrana, en serie, para separar una solución de partida en concentrado permeado y flujos salientes de baja concentración, e incrementando gradualmente la presión de operación en cada etapa. Se propone incrementar la presión en un incremento de presión correspondiente al incremento de la presión osmótica para evitar una presión de operación excesivamente grande en la etapa precedente.

Además, M. Mulder, en "Basic Principles of Membrane Technology", capítulo VIII, 1990, Kluwer, Dordrecht, NL propone la desalinización del agua del mar por utilización de una cascada en cono de unidades de módulo de membrana de ósmosis inversa y una bomba de alimentación de alta presión. El número de unidades de módulo se reduce de cinco unidades en la primera etapa a tres unidades en la segunda etapa y una unidad en la tercera etapa. En este diseño multi-etapa, la pérdida de volumen de alimentación se compensa, de manera que la velocidad alta del flujo a través en todo el sistema permanece virtualmente constante.

Compendio de la invención

El objeto de la presente invención es proporcionar un método de separación de ósmosis inversa que recoge el agua desalada desde agua de mar con una elevada relación de recuperación, poca energía, alta eficacia y alta estabilidad.

El anterior objeto se alcanza al proporcionar un método como el definido en la reivindicación 1. En las reivindicaciones adjuntas se señalan más desarrollos.

Breve descripción de las figuras

La Figura 1 es un diagrama de flujo que muestra un ejemplo de aparato de membrana de ósmosis inversa de esta invención.

La Figura 2 es un diagrama de flujo que muestra un ejemplo de técnicas convencionales.

1: bomba de presión

2: unidad de módulo de membrana de ósmosis inversa de la primera etapa

3: flujo saliente de la primera etapa

ES 2 299 455 T3

- 4: concentrado de la primera etapa
- 5: equipo de recuperación de energía
- 5 6: agua de alimentación
- 7: bomba auxiliar
- 8: unidad de módulo de membrana de ósmosis inversa de la segunda etapa
- 10 9: flujo saliente de la segunda etapa
- 10: concentrado de la segunda etapa.

15 Descripción detallada de la invención

En el caso de aparatos de separación de membrana de ósmosis inversa consistente en tres o más etapas, deberán cumplirse las características de esta invención descritas en el segundo párrafo de la página 7 para estas dos etapas pero no necesariamente cumplirse para todas las etapas.

20 El aparato de separación de membrana de ósmosis inversa multi-etapa contiene al menos una sección de entrada del agua y una sección formada por la membrana de ósmosis inversa. La porción de membrana de ósmosis inversa se define como la sección destinada a la separación de agua de alimentación para tener agua dulce y un concentrado, por suministro de agua de alimentación a presión a los módulos de membrana de ósmosis inversa. Un aparato de separación
25 de membrana de ósmosis inversa típico consiste en módulos de membrana de ósmosis inversa y bombas de presión, consistiendo cada uno de los módulos en elementos de membrana de ósmosis inversa y un depósito a presión. Antes de que el agua sea suministrada a la membrana de ósmosis inversa, se le pueden añadir varios productos químicos que incluyen coagulante bactericida, reductor y agente de ajuste del pH y realizarse un pretratamiento (separación de componentes de turbiedad) utilizando filtro de arena, filtro de carbono activado, filtro de seguridad, etc. Para la
30 desalinización del agua de mar, por ejemplo, el agua de mar se introduce a través de la sección de entrada de agua y las partículas son separadas en un depósito de sedimentación, que puede contener un bactericida para esterilizar el agua. Se añade entonces un coagulante tal como cloruro férrico, seguido de filtración por arena. El filtrado, recogido en un depósito, se somete entonces a ajuste del pH con ácido sulfúrico, y se envía a una bomba de presión. Antes de su introducción como alimentación a la bomba, se añade frecuentemente un reductor tal como bisulfito de sodio para
35 eliminar el bactericida que puede causar deterioro en el material de membrana de ósmosis inversa, seguido de filtración a través de un filtro de seguridad. El agua se somete entonces a presión con la bomba de presión y se introduce como alimentación a los módulos de ósmosis inversa.

La membrana de ósmosis inversa a la que se refiere la invención se define como membrana semi-permeable que
40 permite el paso a su través de algunos componentes de la mezcla líquida, tales como un disolvente, mientras quedan detenidos los otros componentes. Como materiales para tal membrana se utilizan frecuentemente polímeros que incluyen acetato de celulosa, poliamida, poliéster, poliimida y polímero vinílico. En cuanto a los componentes, existen dos tipos de membrana: membrana asimétrica y membrana compuesta. La membrana asimétrica tiene una capa densa en al menos un lado de la membrana, y poros finos con un diámetro creciente desde la capa densa hacia dentro o hacia
45 fuera del otro lado. La membrana compuesta consiste en una membrana asimétrica con una capa activa muy delgada de un material diferente aplicado sobre la capa densa de la membrana. En cuanto a su estructura, los productos de membrana se dividen también en dos grupos: tipo fibra hueca y tipo plano. El método de esta invención se puede aplicar de manera eficaz, no obstante, a todos estos tipos independientemente del material, componentes y estructura de la membrana de ósmosis inversa. Los materiales de membrana de ósmosis inversa típicos incluyen acetato de celu-
50 losa y poliamida para el tipo asimétrico, y poliamida y poliurea para la capa activa de membrana del tipo compuesto. Entre otros, el método de esta invención es eficaz para membrana de acetato de celulosa asimétrico, y membrana de poliamida compuesta, en particular para membrana de poliamida aromática compuesta.

El elemento de membrana de ósmosis inversa es una unidad especialmente diseñada para el uso práctico de esta
55 membrana de ósmosis inversa como se ha descrito antes. La membrana plana puede ser instalada en un elemento en espiral, tubular o del tipo placa-en-armazón mientras que la fibra hueca se reúne en un haz y se coloca en el elemento. La presente invención es eficaz para todos los tipos de membrana independientemente de estas estructuras.

La unidad de módulo de membrana de ósmosis inversa consiste en una serie de módulos paralelos cada uno de los
60 cuales está formado por un recipiente a presión que contiene uno a varios elementos de membrana de ósmosis inversa. Se puede utilizar cualquier número, combinación y disposición dependiendo de sus usos.

La invención se caracteriza por el empleo de más de una unidad de módulos de membrana de ósmosis inversa y también por su disposición. Es esencial que las unidades de módulos de membrana de ósmosis inversa se coloquen en
65 serie de manera que el agua de alimentación y el concentrado fluyan de una unidad a otra. Según esto, el concentrado de una unidad de módulo de membrana de ósmosis inversa es el agua de alimentación para la siguiente unidad del módulo de membrana de ósmosis inversa. La construcción básica del aparato de membrana de ósmosis inversa tal

ES 2 299 455 T3

como aquí se reivindica se describe a continuación con referencia a la Figura 1, que da un ejemplo de una instalación de desalinización de agua de mar que utiliza una técnica de la presente invención. La instalación está diseñada para producir agua dulce a una relación de recuperación muy alta de 60% a partir de agua de mar de una concentración ordinaria de 3,5%. El aparato de separación con membrana de ósmosis inversa consistente en dos unidades de módulo de membrana de ósmosis inversa, una bomba de presión, y una bomba auxiliar es mostrado en esquema. Después del pretratamiento para eliminar los componentes de la turbidez (no mostrados en la Figura 1), el agua de mar es sometida a presión por la bomba de presión 1 e introducida como alimentación en la unidad de módulo de membrana de ósmosis inversa de la primera etapa. En la unidad de membrana de ósmosis inversa de la primera etapa, el agua de alimentación se separa en dos porciones: un flujo saliente de baja concentración que ha permeado la membrana y un concentrado de alta concentración que no puede permear la membrana. El flujo saliente se recoge para usarlo, mientras que el concentrado sirve como alimentación a la unidad de módulo de membrana de ósmosis inversa de segunda etapa después de ser sometido a más presión con la bomba auxiliar 2 de 60-65 atmósferas (la pérdida de presión se omite por simplificación) a 90 atmósferas, una presión esencial para separación de concentrado de alta concentración a una relación de recuperación del 60%. Se lleva a cabo de nuevo una separación de ósmosis inversa para separar un flujo saliente de segunda etapa desde el concentrado de segunda etapa. La relación de recuperación de agua dulce que es del 60% en este caso, se define en términos de la relación de la suma del flujo saliente de la primera etapa y el flujo saliente de la segunda etapa respecto al agua de mar total alimentada a la instalación de membranas de ósmosis inversa.

El aparato de separación de ósmosis inversa ilustrado en la Figura 1 consiste en dos unidades de módulo de membrana de ósmosis inversa, una bomba de presión, y una bomba auxiliar (procedimiento en dos etapas de concentrado a presión). Este ejemplo, sin embargo no ha de entenderse como limitativo del número de etapas y bombas, sino que se puede utilizar cualquier número de ellos si se requiere.

En lo concerniente a la relación de recuperación, aunque el aparato y método de la presente invención se puede utilizar de la forma más eficaz cerca de la relación de recuperación teórica máxima del 60%, su empleo no queda limitado por este hecho y puede aplicarse a instalaciones convencionales diseñadas para una relación de recuperación de aproximadamente el 40%. Teniendo en cuenta el coste de energía para la instalación completa, la relación de recuperación objetivo deberá estar por encima del 50%, preferiblemente por encima del 55%.

Para proporcionar presión al agua de alimentación a dos o más unidades de módulo de membranas de ósmosis inversa se utilizan una bomba de presión y una o más bombas auxiliares. La bomba de presión proporciona presión al agua de partida hasta por encima de la presión osmótica del agua de partida. Para este propósito se utiliza una bomba de alta presión ordinaria. Es esencial que la presión esté por encima de la presión osmótica del agua de partida (citada aquí simplemente como presión osmótica, pero con más precisión, la diferencia de presión osmótica entre el agua de partida y el flujo saliente), preferiblemente 20 atmósferas más alta que la presión osmótica del concentrado en la unidad de módulo de membrana de ósmosis inversa de primera etapa, pero no 50 atmósferas o más alta que la presión osmótica. Para una instalación de desalinización de agua del mar, los mejores resultados se obtienen cuando la presión de operación de la unidad de módulo de la primera etapa está por debajo de 70 atmósferas, teniendo en cuenta el coste global en energía. La presión de operación de la unidad de módulo de la etapa final será 20 atmósferas más alta que la presión osmótica del concentrado de la unidad de módulo de la etapa final. Para una instalación de desalinización de agua de mar de una relación de recuperación del 60%, una presión de operación de aproximadamente 90 atmósferas es favorable teniendo en cuenta los costes. Se pueden utilizar presiones más altas en aquellos casos en los que se requiera una membrana de desalinización de muy alto rendimiento para tratamiento de agua del mar de alta concentración (es probable que se reduzca la velocidad de flujo) aunque la presión será menor de aproximadamente 120 atmósferas (presión osmótica más de 50 atmósferas) para evitar problemas en los canales descendentes en los elementos de membrana osmótica inversa. Se pueden seleccionar otras disposiciones según si se requiere. Por ejemplo, una disposición que consiste en unidades de módulo plurales con una bomba auxiliar sobre cada unidad para incremento gradual de la presión puede ser eficaz para reducir los costes de energía. Los autores de la presente invención han realizado estudios acerca de la posibilidad de que sea factible un sistema de desalinización de agua de mar del tipo compresión en multietapa para reducción de costes. Los resultados han mostrado que un sistema tal trabaja eficazmente cuando la presión de operación de la etapa n , P_n , tiene la siguiente relación con la de la etapa $n+1$, P_{n+1}

$$1,15 \leq P_{n+1}/P_n \leq 1,8$$

preferiblemente

$$1,3 \leq P_{n+1}/P_n \leq 1,6$$

Cuando se define una relación entre la etapa n y la etapa $n+1$ para esta invención, es suficiente aplicar tal relación a al menos un conjunto de dos etapas secuenciales.

Preferiblemente, el número de unidades de módulo de cada etapa deberá disminuirse en la etapa precedente de manera que la cantidad de agua de alimentación para cada módulo en la etapa precedente no se haga demasiado pequeña.

ES 2 299 455 T3

Es esencial que el área de membrana de ósmosis inversa efectiva total de una unidad de módulo esté en el intervalo de 20-80%, preferiblemente 30-70%, preferiblemente 40-60% de la de la unidad de módulo precedente.

El concentrado en una etapa es comprimido además por una bomba auxiliar y suministrado entonces al módulo de membrana de ósmosis inversa de la siguiente etapa como agua de alimentación para esa etapa. Esta bomba auxiliar es necesaria para incrementar la presión solo ligeramente (típicamente en 10-30 atmósferas por encima de la etapa previa). Sin embargo, la armadura de la sección de entrada de la bomba auxiliar deberá tener una suficiente resistencia a la presión debido a que se introduce como alimentación agua a presión en un grado significativo a la armadura de entrada. Según esto, la entrada deberá ser resistente a al menos 50 atmósferas. En particular, es importante que la armadura y el cierre del eje sean lo suficientemente resistentes a la presión. No hay limitaciones sobre el tipo y estructura de la bomba auxiliar en tanto que tal resistencia a la presión esté asegurada.

El depósito a presión para esta invención será diferente del que puede utilizarse en el caso de llevar a cabo un proceso convencional en una sola etapa bajo una presión de operación de 90 atmósferas a pesar del efecto de la formación de incrustaciones. Si se va a llevar a cabo un proceso simple en una sola etapa bajo una presión de 90 atmósferas, no solamente los elementos de membrana de ósmosis inversa sino también el depósito que contiene varios elementos tendrán que ser resistentes a una presión de 90 atmósferas. En el caso de esta invención, la unidad de módulo de primera etapa puede hacerse funcionar bajo una presión relativamente baja, como es aproximadamente 60 atmósferas. Por tanto, se pueden emplear depósitos a presión con una resistencia a la presión relativamente baja para conseguir una gran reducción de costes. El depósito a presión de la etapa final, sin embargo deberá ser resistente a al menos 80 atmósferas cuando se hace funcionar normalmente en el intervalo de 80-100 atmósferas.

No hay limitaciones especiales sobre el líquido de alimentación que se va a tratar con el aparato de separación con membrana de ósmosis inversa de esta invención, pero trabajará con mejor rendimiento para un líquido con una concentración relativamente alta y presión osmótica alta.

No hay limitaciones especiales sobre el contenido de los solutos, pero este contenido deberá ser preferiblemente de 0,5% en peso o más. Los mejores resultados se obtendrán cuando esta invención se aplique a agua de mar con una alta presión osmótica o salmuera de alta concentración con una concentración de sales de aproximadamente 1% o más.

Para los propósitos de esta invención, se pueden utilizar unidades de módulo de membrana de ósmosis inversa, pero no hay limitaciones en cuanto al número de tales unidades como las descritas antes. El número de unidades de módulo, sin embargo será preferiblemente de dos o tres cuando es importante la reducción de costes. Cuando las unidades de módulo de membrana de ósmosis inversa están instaladas en multi-etapa, la velocidad de flujo de concentrado respecto a la del agua de alimentación se reduce a cada etapa. Si todas las etapas tienen el mismo número de unidades de módulo, la velocidad de flujo de agua de alimentación para cada módulo decrece de una etapa a la siguiente, y es más probable que ocurra una polarización de la concentración. Según esto, el número de módulos en las unidades de cada etapa deberá reducirse de una etapa a la siguiente para evitar que se haga extremadamente pequeña la velocidad de flujo de agua de alimentación a un módulo. Para una instalación que comprende módulos de membrana de ósmosis inversa instalados en multi-etapa, se obtendrán buenos resultados cuando el número de módulos en cada etapa está en el intervalo de 40-60% del de la etapa precedente. Por la misma razón, la velocidad de flujo saliente deberá también decrecer de la misma manera para asegurar un buen equilibrio de la instalación completa. Si se ha fijado el número de módulos en cada etapa y no puede cambiarse, se puede hacer variar la velocidad de flujo saliente ampliamente por cambio de la presión ejercida por las bombas auxiliares. Teniendo en cuenta los costes totales de energía para el aparato, el aparato de separación de ósmosis inversa multi-etapa puede trabajar más eficazmente cuando la velocidad de flujo en cada etapa está en el intervalo de 30-70% de la de la etapa precedente.

La invención utiliza unidades de módulo multi-etapa con número de módulos que decrece de una etapa a la siguiente a una relación óptima con objeto de evitar una bajada rápida de la velocidad del flujo de agua de alimentación en el lado corriente arriba de la membrana en cada módulo de membrana de ósmosis inversa. Existe una velocidad óptima de flujo de membrana, y deberá evitarse una gran diferencia en la velocidad de flujo de membrana entre las diferentes etapas. Entre las diversas velocidades de flujo del concentrado en la membrana de las diversas velocidades de flujo de concentrado en la membrana de las diversas unidades de módulo de membrana de ósmosis inversa de las diferentes etapas, la velocidad de flujo de concentrado en la membrana de la unidad de módulo con la mayor velocidad de flujo de membrana (F_{\max} : velocidad máxima de flujo de concentrado en la membrana) y la velocidad de flujo del concentrado en la membrana de la unidad de módulo con menor velocidad de flujo de membrana (FR_{\min} : velocidad mínima del flujo de concentrado en la membrana) deberá estar en la relación abajo descrita con el fin de reducir la diferencia en la velocidad del flujo de membrana del agua de mar entre las unidades de módulo a diferentes etapas para asegurar una operación estable, libre de polarización de concentración:

$$FR_{\max}/FR_{\min} \leq 1,5$$

preferiblemente

$$FR_{\max}/FR_{\min} \leq 1,3$$

ES 2 299 455 T3

En esta invención, el concentrado procedente de la unidad de módulo de membrana de ósmosis inversa de la etapa final tiene una energía de presión, que deberá ser recuperada por métodos de recuperación de energía. Entre los métodos disponibles para la recuperación de la energía desde el concentrado de la etapa final se incluyen el uso de turbina, rueda hidráulica, etc. para reducir la carga de energía del eje en la bomba auxiliar en la etapa precedente o en cualquier otra etapa o bomba de presión en la primera etapa. Para hacer el máximo uso de la energía recuperada, sin embargo, la mejor vía es el retorno directo de la energía a la turbina de recuperación conectada directamente a la bomba de presión en la unidad de módulo de primera etapa que necesita la mayor energía.

La invención está destinada en particular a la desalinización de agua de mar a una alta relación de recuperación, y la adición de un agente de prevención de incrustaciones es eficaz para una operación estable.

Los agentes de prevención de incrustaciones disponibles para su adición al agua de alimentación al aparato de separación de ósmosis inversa de esta invención incluye polímeros iónicos orgánicos o inorgánicos y monómeros que pueden formar complejos con metal o ión metálico en solución para solubilizar el metal o la sal metálica. Los polímeros iónicos incluyen polímeros sintéticos tales como polímeros poliacrílicos, poliestireno sulfonado, poliácridamida y poliácridamina, así como polímeros naturales tales como carboximetil celulosa, quitosano y ácido algínico. Los monómeros orgánicos incluyen ácido etilendiaminotetraacético (EDTA). Los agentes útiles de prevención de incrustaciones inorgánicas incluyen polifosfatos. De estos agentes de prevención de incrustaciones, los polifosfatos y EDTA son particularmente adecuados para esta invención debido a su disponibilidad, facilidad de manejo debido a la alta solubilidad, y bajo precio. Un polifosfato es un fosfato inorgánico polimerizado que consiste en unidades de hexametafosfato de sodio u otras unidades moleculares similares con dos átomos de fósforo, conectadas entre sí por un átomo de fósforo y un metal alcalino o metal alcalinotérreo. Estos polifosfatos incluyen pirofosfato tetrasódico, pirofosfato disódico, tripolifosfato de sodio, tetrapolifosfato de sodio, heptapolifosfato de sodio, decapolifosfato de sodio, metafosfato de sodio, hexametafosfato de sodio, y sus sales de potasio.

Estos agentes de prevención de incrustaciones se pueden añadir al agua de alimentación hasta alcanzar cualquier concentración si tal concentración es suficiente para captar los componentes de las incrustaciones. Por lo general, sin embargo, la concentración óptima puede estar en el intervalo de 0,01-100 ppm, considerando el coste y las características de manejo tales como el tiempo requerido para la disolución. Para el agua del mar está por lo general en el intervalo de 0,1-50 ppm, particularmente en el intervalo de 1-20 ppm, dependiendo de las propiedades del agua de alimentación. Las concentraciones por debajo de 0,01 ppm no serán suficientes para un control adecuado de formación de incrustaciones, que conducen al deterioro del rendimiento de la membrana. Si su concentración está por encima de 100 ppm los propios agentes de prevención de incrustaciones son adsorbidos sobre la superficie de la membrana lo que reduce el rendimiento en agua dulce o causa el deterioro en las propiedades del agua. Puede ser necesaria, sin embargo, su adición hasta una concentración de varias decenas a varias centenas de ppm al agua de alimentación para contraponerse a grandes cantidades de componentes de incrustaciones o metales.

La invención hace posible una desalinización de agua de mar con una alta relación de recuperación, que es difícil de alcanzar con un procedimiento convencional en una sola etapa, así como una gran reducción de costes y mejora de la estabilidad. La estabilidad de la operación puede mejorarse además por clarificación del agua de alimentación hasta un grado extremo antes de su entrada como alimentación a las unidades del módulo dispuestas en multi-etapa. Los autores de la presente invención han llevado a cabo estudios que han demostrado que el pretratamiento de agua de mar antes de la desalinización con membrana de filtración tal como membrana de ultrafiltración o membrana de microfiltración es muy eficaz. Entre ellas se prefiere la membrana de ultrafiltración de fibra hueca. El aparato de pretratamiento consiste habitualmente en módulos de membrana de fibra hueca que contienen membranas de fibras huecas. El agua del mar queda muy transparente cuando es filtrada por el aparato. La membrana de fibra hueca debe permanecer en servicio a lo largo de un período de tiempo prolongado ya que la superficie de membrana de fibra hueca es sometida regularmente a limpieza física. Entre los métodos disponibles para esta limpieza física de la membrana de fibras huecas se incluyen el uso de flujo inverso del filtrado, de una corriente de aire, y los frascos lavadores.

El módulo de membrana de fibra hueca utilizado en esta invención es producido a partir de un haz de fibras huecas que se adhieren entre sí por ambos extremos y se cortan entonces para abrir la parte hueca de las mismas. No hay limitaciones sobre esta estructura, pero una estructura óptima puede determinarse teniendo en cuenta los medios utilizados para la limpieza física. Los más deseables incluyen un módulo que consiste en un recipiente tipo depósito que contiene varios elementos de membrana de fibra hueca. Esta estructura es muy deseable debido a que pueden construirse módulos con una gran capacidad. Los materiales de membrana útiles para tales módulos de membrana de fibra hueca incluyen, pero no se limita solo a ellos, polietileno, polipropileno, poli alcohol vinílico, acetato de celulosa, poliacrilonitrilo, y cualquier otro material de membrana de fibra porosa. Los materiales de membrana de fibra hueca particularmente deseables incluyen polímeros que consisten en acrilonitrilo como componente. La mayor parte de los polímeros de acrilonitrilo deseables incluyen copolímeros de acrilonitrilo producidos a partir de 50% en moles o más, particularmente 60% en moles o más, de acrilonitrilo y 50% en moles o menos, particularmente 0-40% en moles, de uno o más compuestos vinílicos que pueden formar un copolímero con acrilonitrilo. También puede ser útil una mezcla de dos o más de estos polímeros de acrilonitrilo y uno o más de otros polímeros. Estos compuestos vinílicos, como los descritos antes, son compuestos conocidos que pueden formar un copolímero con acrilonitrilo. Los componentes de copolímero deseables incluyen, pero no queda limitado a ellos, ácido acrílico, ácido itacónico, acrilato de metilo, metacrilato de metilo, acetato de vinilo, sulfonato de alil sodio, y p-sulfonato de estireno sodio.

ES 2 299 455 T3

La presente invención puede proporcionar aparato y método de separación que producen una solución de baja concentración a partir de una solución de alta concentración con una alta relación de recuperación, pequeños requerimientos de energía, y alta estabilidad.

5 Naturalmente, esta invención se puede aplicar también a una amplia variedad de procesos de separación con membrana de ósmosis inversa distintos a la desalinización de agua de mar, incluyendo procesos de productos químicos y separación de alimentos.

Ejemplo 1

10

El aparato de separación con membrana de ósmosis inversa, construido y utilizado para experimentos de desalinización de agua de mar consiste en una unidad de módulo de primera etapa, una unidad de módulo de segunda etapa, una bomba de presión para someter a presión el agua de alimentación (agua de mar) para enviarla a la unidad de módulo de primera etapa, y una bomba auxiliar para someter a más presión el concentrado de la unidad de módulo de la primera etapa para enviarlo a la unidad de módulo de la segunda etapa, como queda ilustrado en la Figura 1. La unidad de módulo de la primera etapa consiste en cuatro módulos formado cada uno de ellos por una vasija de presión que contiene seis elementos de membrana de poliamida de ósmosis inversa, cada una con un área de membrana de 26,5 m² y teniendo una expulsión de sal del 99,5% y una velocidad de producción de agua dulce de 15 m³/día bajo condiciones convencionales (presión 56 atmósferas, concentración del agua de mar 3,5%, temperatura 25°C, y relación de recuperación del 12%), y la segunda unidad de módulo de la etapa segunda consiste en dos de tales módulos. Para la recuperación de la energía, el concentrado en la segunda etapa se hace retornar a la turbina de recuperación de energía que está conectada directamente con la bomba de presión de la primera etapa. El agua de mar bombeada hasta la bomba de presión de la primera etapa se introduce como alimentación en la unidad de módulo de membrana de ósmosis inversa de la primera etapa bajo presión de 65 atmósferas, y el concentrado de la primera etapa (63 atmósferas) es sometido a presión por la bomba auxiliar hasta 90 atmósferas. Cuando el agua de mar es alimentada a una velocidad de 770 m³/día, se produce agua dulce que satisface las normas de agua potable a una velocidad de 300 m³/día en la primera etapa y 162 m³/día en la segunda etapa. La relación de recuperación es del 60%. El flujo saliente desde el elemento corriente arriba en la unidad de módulo de la primera etapa es 18 m³/día, y el consumo de energía por metro cúbico de flujo saliente es de 4,5 kWhora.

30

Ejemplo 1

Comparativo

35 El aparato de separación de membrana de ósmosis inversa construido y utilizado para experimentos de desalinización de agua de mar consiste en una unidad de módulo de membrana de ósmosis inversa y una bomba de presión para someter a presión el agua de alimentación (agua de mar) para enviarla a la unidad de módulo, como se ilustra en la Figura 2. La unidad de módulo consiste en una vasija de presión que contiene seis elementos de membrana de ósmosis inversa, siendo cada elemento igual a los utilizados en el Ejemplo 1.

40

Se produce agua dulce a una velocidad de 498 m³/día en la primera etapa a una relación de recuperación del 60%. El flujo saliente del elemento aguas arriba es de 22 m³/día, que está por encima del límite de resistencia a incrustaciones permisible, lo que indica que el aparato no permanecerá en servicio en un largo período de tiempo. El consumo de energía por metro cúbico de flujo saliente es de 4,9 kWhora.

45

Ejemplo 2

Se filtra el agua de mar a través de una unidad de módulo de membrana de ultrafiltración consistente en un depósito de acero inoxidable que contiene siete módulos de membrana de ultrafiltración, teniendo cada uno un área de membrana de 15 m² y hechos de membranas de ultrafiltración de 12.000 fibras huecas de poliacrilonitrilo con un peso molecular de 400.000, que tenían un diámetro exterior de 500 μm, y un diámetro interior de 350 μm. La velocidad de filtrado es de 100 m³/día y la presión de operación para la filtración es de 0,5 atmósferas. Para el agua de mar anterior al procesado, la turbidez es de 3,0 y el índice de incrustaciones (FI), que indica el grado de obturación de la membrana, no es mensurable (FI ≥ 6,5), pero el agua de mar después del proceso de filtrado tiene una turbidez de 0,1 y un valor de FI de menos de 1. P Se lleva a cabo un ensayo para una desalinización continua de esa misma agua de mar utilizando un aparato de membrana de ósmosis inversa del tipo compresión del concentrado que consiste en ocho elementos de membrana de ósmosis inversa de poliamida (cuatro módulos conteniendo cada uno dos elementos) en la primera etapa y cuatro elementos (dos módulos como los de antes) en la segunda etapa, cada elemento con un área de membrana de 6,6 m² y teniendo una explosión de sal de 99,5% y una velocidad de producción de agua dulce de 3,75 m³/día bajo condiciones normales (presión 56 atmósferas), concentración del agua de mar de 3,5%, temperatura 25°C, y relación de recuperación del 12%). El ensayo de desalinización continua de agua de mar se lleva a cabo a una presión en la primera etapa de 65 atmósferas y la presión de la segunda etapa de 90 atmósferas. Como resultado de ello, se obtiene un flujo saliente de agua de mar a una velocidad de 40 m³/día y una relación de recuperación de 60%. La velocidad del flujo saliente (equivalente a 25°C) permanece prácticamente la misma durante las 2.000 horas de operación en estas condiciones.

65

ES 2 299 455 T3

Ejemplo comparativo 2

Se lleva a cabo un ensayo de desalinización de agua de mar por el mismo procedimiento que en el Ejemplo 2 excepto en que para el pre-tratamiento se emplea el aparato de filtración de arena en lugar de unidades de módulo de membrana de fibra hueca. El aparato de filtro de arena coagulada utiliza cloruro férrico como coagulante. El agua después del tratamiento de filtración tiene una turbidez de 0,6 y un FI de 4,5. Después de 2.000 horas de operación bajo las mismas condiciones que en el Ejemplo 2, la velocidad de flujo saliente es de 36 m³/día, lo que indicaba un deterioro de aproximadamente 3%.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

ES 2 299 455 T3

REIVINDICACIONES

1. Un método para recoger agua desalinificada a partir de agua del mar, que comprende:

5 separar agua de mar en un concentrado y en flujo saliente de baja concentración por medio de unidades de módulo de membrana de ósmosis inversa (2, 8) dispuestas en multietapa, donde el concentrado de una etapa es suministrado a la siguiente etapa y los flujos salientes de baja concentración son recogidos desde las etapas, y donde el área total de membrana de ósmosis inversa eficaz de una etapa está en el intervalo de 20 a 80% de la de la etapa precedente,

10 **caracterizado por**

someter a presión el agua de mar introducida como alimentación en la unidad de módulo de membrana de ósmosis inversa de la primera etapa (2) y someter a presión el concentrado entre dos etapas de manera que la diferencia entre la presión de operación en cada etapa es de 5,07 MPa (50 atmósferas) o menos y la velocidad de flujo saliente de cada etapa está en el intervalo de 30 a 70% de la de la etapa precedente.

2. Un método según la reivindicación 1, donde la diferencia entre la presión de operación de cada etapa y la presión osmótica del concentrado en esa etapa es 2,03 MPa (20 atmósferas) o más.

3. Un método según la reivindicación 1 ó 2, donde la separación de agua de mar se efectúa en dos etapas.

4. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el concentrado entre dos etapas se somete a presión de manera que la presión de operación en la etapa n, P_n , y la de la etapa n+1, P_{n+1} , satisface la relación $1,15 \leq P_{n+1}/P_n \leq 1,8$.

5. Un método según la reivindicación 4, donde el concentrado entre las citadas dos etapas se someten a presión de manera que la presión de operación en la etapa n, P_n , y la de la etapa n+1, P_{n+1} , satisface la relación $1,3 \leq P_{n+1}/P_n \leq 1,6$.

6. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el área de membrana de ósmosis inversa eficaz total de una etapa está en el intervalo de 30 a 70% de la de la etapa precedente.

7. Un método según la reivindicación 6, donde el área de membrana de ósmosis inversa eficaz total de una etapa está en el intervalo de 40 a 60% de la de la etapa precedente.

8. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la velocidad de flujo del concentrado en la membrana de la etapa con la velocidad de flujo de membrana más alta (FR_{max} : flujo máximo del concentrado en la membrana) y la velocidad del flujo de concentrado de la etapa con la velocidad de flujo de concentrado más baja (FR_{min} : flujo mínimo de concentrado en la membrana) están en la relación $FR_{max}/FR_{min} \leq 1,5$.

9. Un método según la relación 7, donde FR_{max} y FR_{min} están en la relación $FR_{max}/FR_{min} \leq 1,3$.

10. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el volumen total de agua permeada de cada etapa es 50% o más del volumen del agua de alimentación a la primera etapa.

11. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el flujo por área unidad de la membrana en la primera etapa bajo condiciones normales (F_{ir}) y el de la etapa final (F_{fn}) están en la relación $1,0 \leq F_{ir}/F_{fn} \leq 1,2$.

12. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la presión de operación en la primera etapa es de 7,09 MPa (70 atmósferas) o menos.

13. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la presión de operación en la etapa final está en el intervalo de 8,11 a 12,16 MPa (80 a 120 atmósferas).

14. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde se recupera la energía de presión del concentrado desde la etapa final.

15. Un método según la reivindicación 14, donde la energía de presión recuperada del concentrado se emplea en someter a presión el agua de alimentación de la primera etapa.

16. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el agente de prevención de incrustaciones se añade a al menos el agua de alimentación de la etapa final.

17. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde se filtra previamente el agua de alimentación de la primera etapa.

18. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el agua desalinificada es agua dulce que satisface las normas del agua potable.

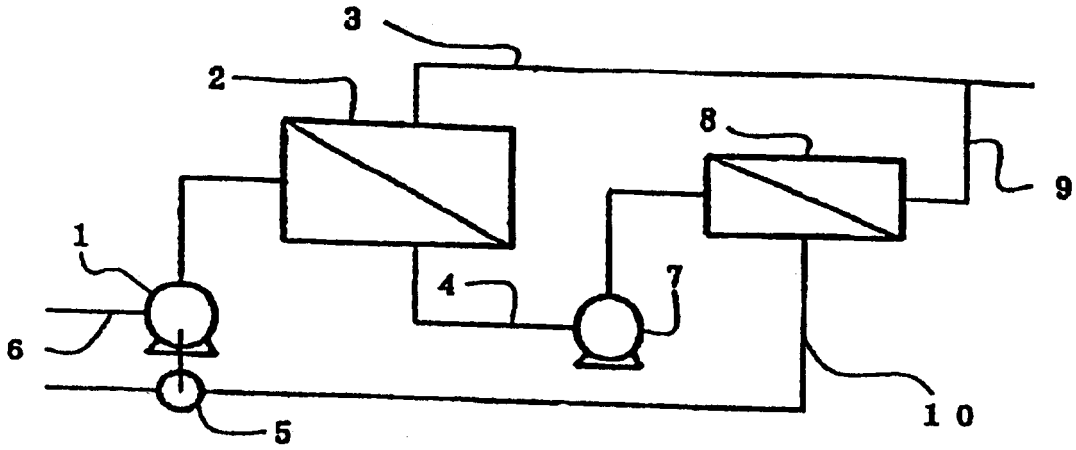


Fig. 1

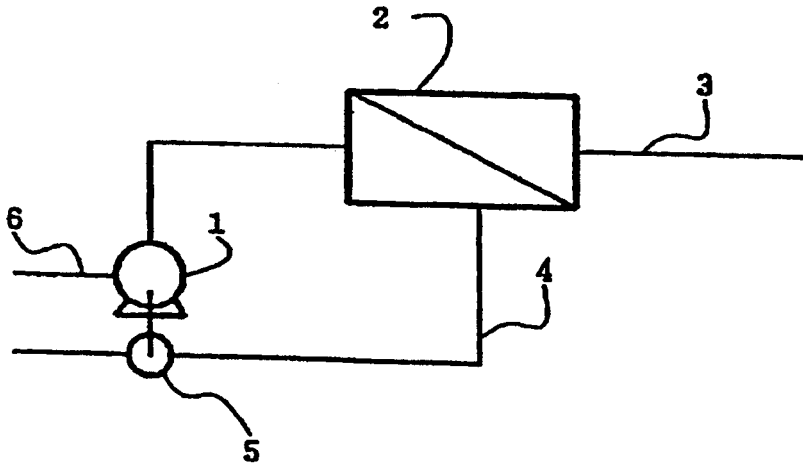


Fig. 2