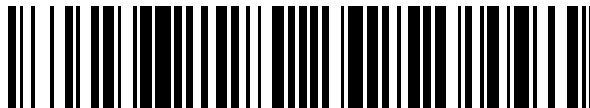


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 747 304**

51 Int. Cl.:

**B01D 61/58** (2006.01)

**B01D 61/00** (2006.01)

**B01D 61/02** (2006.01)

**B01D 61/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.08.2015** **E 15181170 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2019** **EP 3130391**

54 Título: **Purificación de líquidos mediante ósmosis forzada, intercambio iónico y reconcentración**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**10.03.2020**

73 Titular/es:  
**FLUVICON GMBH (100.0%)**  
**Peter Tunner-Str. 19**  
**8700 Leoben, AT**

72 Inventor/es:  
**GRIESSLER, THOMAS**

74 Agente/Representante:  
**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 747 304 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**

Purificación de líquidos mediante ósmosis forzada, intercambio iónico y reconcentración

5 La invención se refiere a un aparato y un procedimiento de purificar líquido.

De forma convencional se aplican los procedimientos de separación de membranas para purificar líquidos como el agua, en particular los basados en la ósmosis inversa. En dicho procedimiento, se aplica presión a todo el líquido sin procesar junto con todos los contaminantes, que se aplastan así contra la membrana. Puesto que los poros de la  
 10 membrana son demasiado pequeños para permitir que pasen los contaminantes por ellos, el contaminante se acumulará directamente en la membrana. Esto puede provocar problemas como obstrucciones e incrustaciones, y después de cierto tiempo, daños en la membrana. Por esta razón, se requiere el pretratado y el preprocesado del líquido para purificarlo antes de que interactúe con la membrana de ósmosis inversa. Este preprocesamiento puede incluir el tamizado, productos químicos (para coagular y flocular), la sedimentación, la filtración (por ejemplo utilizar arena, en configuración de una sola etapa o de etapa doble en serie), el añadido de antiincrustantes y la microfiltración.  
 15 Estos procedimientos son engorrosos y requieren una cantidad de energía considerable.

Un procedimiento alternativo para purificar líquidos como agua es un tratamiento térmico basado en el principio de la destilación, en particular la destilación flash multietapa (MSF). Aunque este proceso resulta fiable, trae consigo un  
 20 consumo de energía incluso mayor (por ejemplo, de 7 a 10 kWh/m<sup>3</sup>) que la ósmosis inversa.

La patente estadounidense 5.098.575 describe un procedimiento y un aparato para reducir la concentración de una primera sustancia en un primer líquido mediante el sometimiento del primer líquido a ósmosis natural, a través de un  
 25 primer cuerpo semipermeable, respecto a un líquido intermedio, y dicho líquido intermedio es una solución o suspensión de una segunda sustancia en un segundo líquido, y el segundo líquido es el primero que el primer líquido y pasa a través del primer cuerpo semipermeable; y la segunda sustancia tiene un tamaño molecular mayor que la primera sustancia y no pasa a través del primer cuerpo semipermeable, por el que la cantidad del segundo líquido en el líquido intermedio aumenta, y entonces se somete al líquido intermedio a ósmosis inversa bajo presión a través de un segundo cuerpo semipermeable para pasar a través del segundo líquido.  
 30

La patente estadounidense 7.901.577 describe que la desalinización se lleva a cabo mediante un proceso de nanofiltración híbrida con intercambio iónico, en el que se realiza el intercambio iónico y después la nanofiltración impulsada a presión. Los iones monovalentes de sodio y cloruro de agua salina se intercambian por concentraciones equivalentes de iones polivalentes (por ejemplo, iones de sodio por iones de magnesio o iones de cloruro por iones  
 35 de sulfato) cuando pasan a través de intercambiadores de iones en forma de estos iones polivalentes. La solución resultante tiene una presión osmótica más baja que la solución inicial que contiene iones de sodio y cloruro monovalentes, y requiere una presión transmembrana más baja para la desalinización de la membrana en comparación con la ósmosis inversa tradicional. La corriente de desecho concentrado del proceso de membrana se usa como regenerante para el intercambiador de iones agotado, que se ha convertido en forma monovalente aniónica o catiónica.  
 40

WO 2011/059751 describe procesos de separación que usan ósmosis diseñada que implica, en general, la extracción de disolvente de una primera solución para concentrar soluto mediante el uso de una segunda solución concentrada para extraer el disolvente de la primera solución a través de una membrana semipermeable. Se puede potenciar la  
 45 eficiencia si se utiliza calor residual de grado bajo de fuentes industriales o comerciales.

WO 2010/067063 describe un proceso para separar el disolvente de una solución, y dicho proceso comprende pasar la solución por una membrana selectiva en condiciones de ósmosis inversa para separar el disolvente de la solución, o separar el disolvente de la solución mediante procedimientos térmicos para producir una solución residual que tenga un aumento de concentración de soluto, y pasar de forma intermitente al menos una porción de la solución en el lado de retención de la membrana selectiva o al menos una porción de la solución residual a través de una membrana de nanofiltración, para separar el resto del disolvente de la porción de solución.  
 50

US 2014/0224718 describe procesos de separación que usan sistemas de membrana accionados por ósmosis, que implican la extracción de disolvente de una primera solución para concentrar soluto mediante el uso de una segunda solución concentrada para extraer el disolvente de la primera solución a través de una membrana semipermeable.  
 55

Sin embargo, sigue siendo difícil purificar líquidos de forma eficiente con un consumo razonable de energía.

60 Un objetivo de la invención es proporcionar un sistema fiable para purificar líquidos de forma eficiente con un consumo razonable de energía.

Para lograr el objetivo ya definido, se proporciona un aparato y un procedimiento para purificar líquidos según las reivindicaciones independientes.  
 65

Según la invención, se proporciona un aparato para purificar líquidos que comprende una unidad de ósmosis

configurada para prepurificar el líquido que se va a purificar (también denominado, por lo tanto, «líquido que se va a purificar») mediante ósmosis inversa (en particular mediante una difusión osmótica), también denominada ósmosis positiva u ósmosis directa, del líquido que se va a purificar a través de una membrana de ósmosis (es decir, cualquier membrana adecuada, capaz de o configurada de forma específica para apoyar el fenómeno de la ósmosis) en una cámara que comprende primeros iones disueltos (en particular primeros cationes y primeros aniones) como agente osmótico, en la que la difusión osmótica puede resultar en una disminución de la concentración de iones en el agente osmótico o una disolución, una unidad de intercambio de iones configurada para intercambiar al menos parte de los primeros iones (en particular al menos parte de los primeros cationes o los primeros aniones) por segundos iones (en particular segundos cationes o segundos aniones), y una unidad de reconcentración configurada para separar el líquido prepurificado después del intercambio de iones en líquido purificado (que también se puede denominar retenido) enriquecido con los respectivos iones (en particular aniones y cationes), donde los primeros iones (en particular al menos uno de los primeros cationes y los primeros aniones) tienen un valor absoluto de un estado de carga en solución que es más bajo que un valor absoluto de un estado de carga de los segundos iones (en particular de al menos uno de los segundos cationes y los segundos aniones) en solución.

Según la invención, se proporciona un procedimiento para purificar líquido que comprende prepurificar el líquido que se va a purificar mediante ósmosis forzada del líquido que se va a purificar mediante una membrana de ósmosis en una cámara que comprende los primeros iones disueltos (en particular primeros cationes y primeros aniones), y a continuación intercambiar al menos parte de los primeros iones (en particular al menos parte de al menos uno de los primeros cationes y los primeros aniones) mediante segundos iones (en particular al menos uno de los segundos cationes y segundos aniones) mediante un intercambiador de iones, y separar el líquido prepurificado después del intercambio en líquido purificado y en un reconcentrado enriquecido con los iones respectivos (en particular aniones y cationes), donde los primeros iones (en particular al menos uno de los primeros cationes y los primeros aniones) tienen un valor absoluto de un estado de carga en solución que es más bajo que un valor absoluto de un estado de carga de los segundos iones (en particular de al menos uno de los segundos cationes y los segundos aniones) en solución.

En el contexto de la presente aplicación, el término «líquido» puede denominar particularmente un medio líquido o gaseoso, que de forma óptica comprende partículas sólidas.

En el contexto de la presente solicitud, el término «ósmosis forzada» puede denotar de forma particular un proceso osmótico que utiliza una membrana semipermeable para efectuar la separación de un líquido (como agua) de solutos disueltos u otros contaminantes. La fuerza motriz de esta separación es un gradiente de presión osmótica, de forma que se utiliza un agente osmótico de alta concentración (en relación con la de la solución de alimentación) para inducir un flujo neto del líquido a través de la membrana en el agente osmótico, separando así de forma efectiva el líquido de alimentación (es decir, el líquido que se va a purificar) de los solutos y otros contaminantes. En contraste con la ósmosis forzada, el proceso completamente diferente de la ósmosis inversa utiliza presión hidráulica como fuerza motriz para la separación, lo que sirve para contrarrestar el gradiente de presión osmótica que, de otro modo, favorecería el flujo de líquido de un impregnante a alimentación.

En el contexto de la presente solicitud, el término «intercambio de iones» puede denominar de forma particular un intercambio de iones (es decir, cationes o aniones) entre dos electrolitos o entre una solución electrolítica y un complejo (como una matriz de intercambio iónico, que puede comprender resina, gel, etc.). El término se puede utilizar para denominar los procesos de purificación, separación y descontaminación de soluciones acuosas y que contengan iones con intercambiadores iónicos como intercambiadores de iones sólidos poliméricos o minerales, o cualquier otro tipo de intercambiadores iónicos.

Según una realización ejemplar de la invención, los procedimientos de ósmosis forzada, intercambio de iones y reconcentración se combinan de forma sinérgica en términos de purificación de fluidos, y se integran en el marco de un sistema operativo preferentemente reversible y sistema de procesamiento preferentemente de ciclo cerrado. En particular, se puede utilizar un gradiente de concentración combinado con una membrana de ósmosis forzada como mecanismo purificador. La combinación con intercambio iónico y reconcentración permite la recuperación eficiente de un agente osmótico que se utiliza para la ósmosis forzada y para completar la purificación. Dicho sistema de procesamiento sólido y fiable tiene la ventaja de una reducción significativa del consumo de energía (entre otros, se puede prescindir del elevado consumo de energía del pretratamiento incómodo y lento del líquido sin procesar, tal y como lo requiere la ósmosis inversa convencional, según una realización ejemplar de la invención. Además, las realizaciones ejemplares de la invención también pueden producir o recuperar energía durante el proceso de purificación de líquidos, que puede además mejorar la eficiencia energética del aparato). El único consumo energético destacable de dicho sistema puede darse en la unidad de reconcentración (por ejemplo, al utilizar una membrana de nanofiltración se debe generar una presión de unos 20 bar o 40 bar, o cualquier otro valor apropiado). Mediante la ósmosis forzada, el líquido se prepurifica (preferiblemente, pero no necesariamente, mediante un proceso sustancialmente sin presión, es decir, sin necesidad de aportar una presión externa sustancial) mediante el paso de un líquido, pero sin los contaminantes del mismo, por cualquier membrana de ósmosis capaz de o adecuada para mantener el fenómeno de la ósmosis debido a una diferencia de concentración de cationes y aniones en el líquido que se va a purificar (concentración iónica baja) en un lado de la membrana de ósmosis y en un agente osmótico (concentración iónica alta) en el lado opuesto de la membrana de ósmosis. Cuando se configura la membrana de ósmosis para que los cationes y los aniones no puedan atravesar la membrana debido a su tamaño o su carga, el

único procedimiento de equilibrio de la concentración posible es la difusión del líquido que se va a purificar (pero no de sus contaminantes) del líquido sin procesar a través de la membrana hacia una cámara que contenga el agente osmótico con la concentración alta de cationes y aniones. A continuación, la mezcla del líquido prepurificado y los iones (es decir, cationes y aniones) puede pasar por un intercambio iónico en el que los iones de la mezcla se intercambien por otros iones. Después de completar este intercambio iónico, el líquido que contiene el resto de iones se puede reconcentrar mediante la separación de una primera porción (por ejemplo, pero no necesariamente, una porción principal) del líquido de los iones intercambiados disueltos en una segunda porción (por ejemplo, pero no necesariamente, una porción más pequeña) del líquido. Después de esta reconcentración, la primera porción del líquido constituye el líquido purificado (que puede o no estar sujeto a más purificación, si así se desea), mientras que la segunda porción del líquido con los iones intercambiados se puede procesar aún más para establecer un procedimiento de ciclo cerrado. Para tal efecto, los iones intercambiados se pueden sustituir de nuevo por los iones originales ya mencionados en otro procedimiento de intercambio iónico (que se puede lograr preferentemente con la misma unidad de intercambio iónico que ya se ha utilizado para el procedimiento de intercambio iónico ya mencionado, y así regenerar la unidad de intercambio iónico) de forma que el líquido resultante con los iones originales recuperados se puede utilizar de nuevo como agente osmótico para la siguiente cantidad de líquido que se va a purificar.

A continuación se explicarán más realizaciones ejemplares del aparato y el procedimiento.

En una realización, la unidad de intercambio iónico se compone de dos elementos de intercambio iónico separados (como columnas), en los que un primer elemento de intercambio iónico se destina al intercambio de cationes (por ejemplo  $\text{Na}^+ \rightarrow \text{Mg}^{2+}$ ), y un segundo elemento de intercambio iónico se destina al intercambio de aniones (por ejemplo  $\text{Cl}^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$ ). También son posibles otras configuraciones.

En una realización, la ósmosis forzada ya descrita se puede apoyar también en ósmosis asistida por presión. En dicha realización se puede aplicar una presión adicional al líquido que se va a purificar para estimular el flujo y aumentar el caudal a través de la membrana de ósmosis. Se puede aumentar el rendimiento al tomar esta medida.

En una realización, la unidad de ósmosis está configurada para estimular un flujo del líquido que se va a purificar a través de la membrana de ósmosis mientras se inhibe un flujo de contaminantes del líquido que se va a purificar hacia la cámara (que contiene el agente osmótico) y mientras se inhiben los primeros iones, (en particular los primeros cationes y los primeros aniones), así como otras impurezas (suspendidas o disueltas) de pasar a través de la membrana de ósmosis hacia el líquido que se va a purificar. Esto se puede lograr mediante la configuración correspondiente del tamaño de los poros de la membrana de ósmosis. De forma adicional o alternativa, la ósmosis también puede depender del estado de carga de las partículas y la membrana de ósmosis (Ley de Coulomb, como sabrán los expertos de la materia, además del Equilibrio de Gibbs-Donnan).

En una realización, la unidad de intercambio iónico se configura para intercambiar al menos parte de los primeros aniones mediante los segundos aniones o al menos parte de los primeros cationes mediante los segundos cationes. Por ejemplo, es posible que sólo se intercambien los cationes. De forma alternativa, también es posible que sólo se intercambien los aniones. También es posible que se intercambien tanto los aniones como los cationes. Los primeros aniones y los primeros cationes se pueden seleccionar de forma específica para extraer líquido puro de forma muy eficiente a través de la membrana de ósmosis. Mediante la sustitución de los primeros aniones mediante los segundos aniones y de los primeros cationes mediante los segundos cationes, es posible combinar estas ventajas con la ventaja adicional de que los segundos aniones y los segundos cationes se pueden seleccionar de forma específica para obtener una reconcentración eficiente en la unidad de reconcentración.

En una realización, la unidad de intercambio iónico se configura para intercambiar de forma reversible al menos parte de los iones (en particular al menos parte de los aniones o al menos parte de los cationes) antes de la reconcentración y después de la reconcentración. Como ejemplo, dicho intercambio iónico reversible puede indicar que un primer procedimiento de intercambio iónico (por ejemplo  $2 \text{Cl}^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$  o  $2 \text{Na}^+ \rightarrow \text{Mg}^{2+}$ ) tiene lugar en una dirección directa del flujo de fluido de la unidad de ósmosis hacia la unidad de reconcentración, y que un segundo procedimiento de intercambio iónico inverso (por ejemplo  $\text{SO}_4^{2-} \rightarrow 2 \text{Cl}^-$  o  $\text{Mg}^{2+} \rightarrow 2 \text{Na}^+$ ) tiene lugar en una dirección inversa del flujo de fluido de la unidad de reconcentración a la unidad de ósmosis. Así se puede integrar el proceso de purificación del líquido en un procedimiento de ciclo cerrado y mantener una cantidad pequeña de residuos.

Según una realización ejemplar de la invención, el intercambio iónico en dirección inversa y el intercambio iónico en dirección directa se pueden llevar a cabo en la misma unidad de intercambio iónico. De forma alternativa se pueden introducir dos unidades de intercambio iónico separadas, una para el intercambio iónico en dirección directa y la otra para el intercambio iónico en dirección inversa. El intercambio iónico en dirección inversa también puede funcionar para la regeneración de la unidad de intercambio iónico después del intercambio iónico en dirección directa, y viceversa.

En una realización, la unidad de intercambio iónico está configurada para volver a intercambiar al menos parte de los iones (en particular al menos parte de los aniones o al menos parte de los cationes) después del intercambio iónico por los otros iones correspondientes (en particular aniones y cationes) mediante un intercambio iónico después de la reconcentración. El otro intercambio iónico se logra mediante iones del reconcentrado o retenido (que, por ejemplo,

no pasa por una membrana de reconcentración o similares, se separa mediante un proceso térmico, etc.) y los otros aniones o cationes correspondientes que se han intercambiado en la corriente de líquido prepurificado de la unidad de reconcentración.

5 En una realización, la unidad de reconcentración se configura para filtrar el líquido prepurificado después del intercambio iónico mediante una membrana de reconcentración para que el líquido purificado pase por la membrana de reconcentración, mientras que al menos parte de los iones intercambiados (en particular aniones y cationes) se retienen con la membrana de reconcentración y, por lo tanto, se reconcentran. Por ejemplo, dicha membrana de reconcentración puede ser una membrana de nanofiltración, una membrana de ultrafiltración, una membrana de microfiltración o una membrana de ósmosis inversa. Sin embargo, también es posible utilizar otros tipos de membrana. Con la reconcentración mediante una membrana de reconcentración, se puede mantener un consumo de energía muy bajo.

15 De forma adicional o alternativa a la utilización de una membrana de reconcentración, la unidad de reconcentración se puede configurar para llevar a cabo la reconcentración mediante un tratamiento térmico del líquido. Por ejemplo, el tratamiento térmico se puede seleccionar de un grupo que consiste en destilación flash multietapa, destilación multiefecto y destilación solar.

20 De forma adicional o alternativa a la utilización de una membrana de reconcentración o un tratamiento térmico para reconcentrar, la unidad de reconcentración se puede configurar para llevar a cabo la reconcentración mediante al menos uno del grupo que consiste en destilación por membrana, desalinización por compresión de vapor, tratamiento de congelación, diálisis eléctrica y *Ionenkraft* («fuerza iónica», como ha introducido Saltworks Technologies).

25 En una realización, el aparato comprende una unidad impulsora de líquido para transportar el líquido prepurificado desde la unidad de intercambio iónico hacia la unidad de reconcentración. Dicha unidad impulsora de líquido puede ser una bomba que proporciona una fuerza de bombeo (o bombeo adicional) para llevar el líquido prepurificado a la unidad de reconcentración y para obtener la suficiente presión.

30 En una realización, al menos parte de los primeros cationes o al menos parte de los primeros aniones tienen un valor absoluto de un estado de carga disuelto que es menor que un valor absoluto de un estado de carga de al menos parte de los segundos cationes o al menos parte de los segundos aniones disueltos. De forma más particular, al menos uno de los primeros cationes y los primeros aniones puede ser un catión o anión monovalente, y al menos uno de los segundos cationes y los segundos aniones puede ser un catión o un anión multivalente (en particular bivalente). Con dicha configuración, el número de partículas se puede reducir durante el intercambio iónico forzado (es decir, en una dirección desde la unidad de ósmosis hacia la unidad de reconcentración), lo que tiene un impacto positivo en la eficiencia de la reconcentración. Aparte de esto, también se puede simplificar la deposición mediante un estado de carga más alto cuando una carga superficial de la membrana (potencial zeta de la membrana) repele las partículas cargadas correspondientes, y los contraiones inversamente cargados se retienen por el Equilibrio de Gibbs-Donnan.

40 De forma adicional o alternativa, los primeros cationes son más pequeños que los segundos cationes o los primeros aniones son más pequeños que los segundos aniones. Por lo tanto, la membrana de reconcentración de la unidad de reconcentración puede contar con poros más grandes, aumentando así la eficiencia de la recuperación de líquido purificado en la unidad de reconcentración sin el peligro de que un número relevante de los iones (relativamente grandes) atraviese de forma involuntaria la membrana de reconcentración.

45 De forma adicional o alternativa, los segundos iones intercambiados pueden tener una mejor capacidad de depositarse térmicamente que los primeros iones (por ejemplo,  $\text{H}_2\text{SO}_3$  en agua, que se disuelve en líquido en  $\text{H}^+$  y  $\text{HSO}_3^-$ ). De forma más general, el intercambio iónico se puede ajustar de forma que mejore el procedimiento de reconcentración y, por ejemplo, se haga este último más eficiente.

50 En una realización, los primeros aniones ( $\text{Cl}^-$ ) y los primeros cationes ( $\text{Na}^+$ ) representan cloruro de sodio disuelto ( $\text{NaCl}$ ). El cloruro de sodio tiene propiedades y comportamiento ventajosos que estimulan la ósmosis forzada. El cloruro de sodio comprende cationes monovalentes y aniones monovalentes. De forma adicional o alternativa, los segundos aniones ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y los segundos cationes ( $\text{Mg}^{2+}$ ) pueden representar sulfato de magnesio disuelto ( $\text{MgSO}_4$ ). Cuando se sustituyen  $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$  y  $2\text{Na}^+ \rightarrow \text{Mg}^{2+}$ , el número de partículas como parámetro relevante para la reconcentración (al menos, la basada en membranas) se puede reducir de forma ventajosa. Esto reduce la presión osmótica y, así, reduce el consumo de energía, en particular para la reconcentración. Tanto el cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ) como el sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ) son materiales inofensivos, baratos y disponibles. Sin embargo, como alternativa a la combinación de cloruro de sodio y sulfato de magnesio, cualquier otra combinación de sales o componentes iónicos (por ejemplo,  $\text{LiCl}$  en vez de  $\text{NaCl}$ ) se puede utilizar en otras realizaciones ejemplares.

60 En una realización, el aparato comprende una unidad de producción de energía configurada para producir energía durante la operación del aparato, en particular de un nivel basado en ósmosis en la unidad de ósmosis. Cuando el nivel de presión del líquido en la cámara del agente osmótico aumenta debido a la ósmosis forzada, la energía potencial o energía de elevación que actúa en este aumento del nivel de presión puede, por ejemplo, utilizarse para activar una turbina con energía del líquido que fluye hacia abajo de nuevo. Por ejemplo, un procedimiento de

producción de energía que se podría utilizar en una realización ejemplar de la invención es la ósmosis por presión retardada.

5 En una realización, la unidad de producción de energía está configurada para alimentar al menos parte de la energía producida para operar el aparato. Por lo tanto, al menos una parte del consumo de energía del aparato puede proceder de la energía producida durante el proceso de purificación del líquido. Esto reduce aún más el consumo de energía neta del aparato durante la operación.

10 En una realización, el aparato comprende una unidad de intercambio de presión (que puede funcionar como una unidad de recuperación de energía) configurada para transmitir presión entre (en particular desde) un líquido que se propaga de la unidad de reconcentración a la unidad de intercambio de iones y (en particular hasta) un líquido que se propaga de la unidad de intercambio de iones a la unidad de reconcentración. En particular, la alta presión del líquido que sale de la unidad de reconcentración se puede transmitir al líquido de baja presión que pasa a la unidad de reconcentración. Dicha unidad de intercambio de presión, un ejemplo de la cual se muestra en la figura 2, puede transferir presión entre el líquido que fluye hacia arriba y hacia abajo con un alto grado de eficiencia. Se pueden introducir otros procesos de recuperación de energía, por ejemplo introducir una turbina, una bomba Pearson (como las que fabrica Spectra Watermakers), etc.

20 En una realización, el aparato está configurado como un sistema de ciclo cerrado en el que los aniones y los cationes se recuperan y se vuelven a utilizar en un ciclo cerrado. Esto aumenta la eficiencia del sistema de purificación de líquido y reduce la cantidad de residuos.

25 En una realización, el aparato está configurado al menos como uno de entre el grupo que consiste en una planta de desalinización (como una planta de desalinización de agua marina o salobre), un aparato portátil (en particular, en una mochila) para la purificación móvil de agua, un aparato doméstico de purificación de agua para purificar agua para un edificio, un aparato industrial de purificación de agua para purificar agua para una fábrica, un aparato agrícola de purificación de agua y un aparato de minería de purificación de agua. Sin embargo, también es posible utilizar otras aplicaciones. En particular, el aparato se puede utilizar para prácticamente cualquier proceso de reciclaje y recuperación de aguas residuales, en particular para suministro de agua y eliminación de residuos públicos (por ejemplo, en el sector municipal).

Los aspectos ya definidos y otros aspectos de la invención resultarán evidentes a partir de los ejemplos de realización que se describirán a continuación y se explican con referencia a estos ejemplos de realización.

35 A continuación se describirá la invención con más detalles en referencia a ejemplos de realización, pero que no limitan la invención.

La figura 1 ilustra una vista esquemática de un aparato para purificar líquido según una realización ejemplar de la invención.

40 La figura 2 ilustra una unidad de intercambio de presión de un aparato según una realización ejemplar de la invención.

Las ilustraciones de los dibujos son esquemáticas. Pueden aparecer elementos similares o idénticos con los mismos signos de referencia en diferentes dibujos.

45 Antes de describir las figuras con mayor detalle, se resumirán algunas consideraciones básicas según las cuales se han desarrollado las realizaciones ejemplares.

Las realizaciones ejemplares de la invención pueden incluir uno o más de los siguientes conceptos:

- 50
- La ósmosis forzada se puede usar como procedimiento para purificar el agua (en particular para el tratamiento del agua o la desalinización del agua). En un sistema correspondiente, es posible pero no necesario que el líquido que se va a purificar mediante ósmosis forzada esté pretratado o preprocesado.
  - 55 - Se puede llevar a cabo el intercambio iónico inverso para reducir la presión osmótica de un agente osmótico para una reconcentración basada en membranas. Por ejemplo, el intercambio iónico puede intercambiar NaCl en MgSO<sub>4</sub>. Sin embargo, hay muchas otras combinaciones de materiales posibles que se pueden intercambiar mediante intercambio iónico reversible para obtener una ventaja por la posterior reconcentración.
  - Se puede introducir una etapa de reconcentración (preferentemente, pero no necesariamente, basada en membranas o térmica).
  - 60 - De forma opcional, se puede integrar un mecanismo de recuperación de energía en el proceso de purificación de líquido (ver numeral de referencia 118 en la figura 1).
  - De forma óptima, se puede integrar un mecanismo de producción de energía en el proceso de purificación de líquido (ver numeral de referencia 116 en la figura 1).

65 Según una realización ejemplar de la invención, se proporciona un tratamiento osmótico de agua que se puede utilizar, por ejemplo, para el tratamiento de agua potable, tratamiento de aguas residuales, desalinización de agua marina

(incluida la desalinización de agua salobre), etc., con alto rendimiento y bajo consumo de energía. Las realizaciones ejemplares se pueden aplicar en suministros comunitarios e industriales de agua y en gestión de aguas residuales, en minería, en agricultura, en el sector militar, en la marina y para el procesado de alimentos. También es posible su aplicación en aviación y en naves espaciales, según las realizaciones ejemplares de la invención.

Las ventajas de un sistema según una realización ejemplar de la invención son la alta eficiencia energética y su solidez. La operación de dicho sistema es simple y sólo conlleva un pequeño esfuerzo en términos de las competencias requeridas de los operadores (lo que lo convierte en un sistema particularmente apropiado para las regiones en desarrollo) y mantenimiento (lo que lo convierte en un sistema apropiado para aplicaciones difíciles).

La cantidad de productos químicos necesaria para el proceso es muy pequeña, lo que reduce los costes, la contaminación y el esfuerzo logístico. A la vista de los bajos valores de presión suficientes que implica el proceso, se pueden introducir componentes simples y de bajo coste en el sistema. Los valores pequeños de presión se pueden obtener al utilizar intercambio iónico con iones multivalentes, lo que reduce, a su vez, la presión osmótica del agente osmótico. Como resultado, se pueden hacer tubos de presión de plástico en vez de acero. Basta con introducir válvulas y bombas sencillas, etc. En comparación con los sistemas de purificación térmica, el sistema para purificar líquidos según una realización ejemplar de la invención se puede introducir en cualquier ubicación que se desee, puesto que no depende de ninguna fuente de calor económica (como calor disipado por una central eléctrica).

Un principio funcional integrado en una realización ejemplar de la invención es el fenómeno físico de la ósmosis forzada, según el cual las soluciones que se separan mediante una membrana semipermeable equilibran sus concentraciones.

Sin una membrana de separación, las partículas disueltas se distribuirían de forma equitativa por todo el volumen de los dos lados de la cámara (bajo la influencia de la entropía de las mezclas). Al impedir esto de forma intencional, gracias a una membrana de ósmosis dimensionada para permitir que penetre sólo el líquido que se va a purificar (en particular, agua) por la membrana, pero para impedirlo tanto para los contaminantes como para los iones, la única posibilidad de lograr un equilibrio es una disolución del agente osmótico con mayor concentración hasta que se equilibre la diferencia de concentración o la presión hidrostática de la columna de líquido en el lado de la solución diluida supere la presión osmótica. Con este fin, se proporciona un agente osmótico en la cámara al lado de la membrana de ósmosis, en oposición al líquido que se va a purificar. Este agente osmótico contará con una concentración de iones mayor que la solución del líquido que se va a filtrar o purificar (es decir, el líquido sin procesar). De forma muy ventajosa, el agente osmótico se puede reconcentrar después de cada ciclo y así separar el líquido puro o líquido producto obtenido. Esto permite obtener líquido purificado sinérgicamente y una reconcentración del agente osmótico (es decir, la sustancia osmóticamente activa disuelta). Se puede obtener un proceso de ciclo cerrado mediante dicho reciclaje del agente osmótico sustancialmente sin pérdidas.

A continuación se describirá un sistema correspondiente en más detalle en referencia a la figura 1:

La **figura 1** ilustra una vista esquemática de un aparato 100 para purificar líquido según una realización ejemplar de la invención. El líquido que se va a purificar sale de una fuente de líquido 120 y pasa a un espacio contenedor 122 en el lado izquierdo de una membrana osmótica 104.

El aparato 100 comprende una unidad de ósmosis 102 configurada para prepurificar el líquido que se va a purificar mediante ósmosis forzada del líquido que se va a purificar a través de la membrana de ósmosis 104 en una cámara 106 que comprende, como agente osmótico, cationes primeros disueltos (en la realización mostrada  $\text{Na}^+$ ) y aniones primeros (en la realización mostrada  $\text{Cl}^-$ ) de una primera sal disuelta (cloruro de sodio,  $\text{NaCl}$ , en la realización mostrada). La membrana de ósmosis 104 es una membrana semipermeable que se configura (en particular en términos de tamaño del poro o potencial zeta), de modo que el agua la puede atravesar como líquido que se va a purificar, mientras que la membrana semipermeable se configura de modo que no pueda ser atravesada por contaminantes en el líquido sin procesar que se va a purificar y no pueda ser atravesada por los primeros cationes y los primeros aniones del agente osmótico. Los primeros cationes y los primeros aniones que se disuelven en un portador líquido, como agua, se ubican en la cámara 106 antes de comenzar un proceso de purificación de líquido. Por ejemplo, en el caso de desalinización de agua marina, el líquido sin procesar puede ser agua marina con contaminantes y también puede incluir cloruro de sodio disuelto, es decir, también puede comprender una cierta concentración de los primeros cationes ( $\text{Na}^+$ ) y los primeros aniones ( $\text{Cl}^-$ ). Sin embargo, la concentración de los iones (es decir, cationes y aniones) debe ser mayor en la cámara 106 (por ejemplo, 5% o más) en comparación con sus concentraciones en el líquido sin procesar (por ejemplo 3% o menos). La unidad de ósmosis forzada 102 está configurada, gracias al fenómeno de la ósmosis forzada, para estimular un flujo del líquido que se va a purificar a través de la membrana de ósmosis 104 mientras se inhibe un flujo de contaminantes del líquido que se va a purificar hacia la cámara 106 y mientras se inhiben los primeros cationes y los primeros aniones, de pasar a través de la membrana de ósmosis 104 hacia el líquido que se va a purificar. Así se extrae agua pura a través de la membrana de ósmosis 104, como se indica con flechas 124, mientras se obliga a los contaminantes del líquido sin procesar (que también se puede denominar como solución de alimentación, agua de alimentación o líquido de alimentación) a que se queden en el espacio contenedor 122.

Como se indica con el número de referencia 126, el líquido prepurificado procesado así, junto con el cloruro de sodio disuelto ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) pasa a una unidad de intercambio de iones 108. La unidad de intercambio de iones 108 está configurada para intercambiar los primeros cationes ( $\text{Na}^+$ ) por segundos cationes ( $\text{Mg}^{2+}$ ) y para intercambiar los primeros aniones ( $\text{Cl}^-$ ) con segundos aniones ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Así, este intercambio de iones intercambia iones pequeños monovalentes por iones más grandes bivalentes, lo que tiene un pronunciado impacto positivo en la presión osmótica (de forma más precisa, reduce de forma ventajosa esta última), lo que mejora la eficiencia de la reconcentración que se describe a continuación. Un experto en la materia comprenderá que es posible utilizar otros iones u otras proporciones.

Después de este intercambio de iones primario, el líquido prepurificado con iones intercambiados se dirige, a través de la unidad de intercambio de presión 118, a una unidad de reconcentración 110, como se indica con los numerales de referencia 128, 132. La unidad de intercambio de presión 118, que se muestra en detalle en la figura 2, está configurada para transmitir presión entre dos flujos de líquido opuestos entre la unidad de intercambio de iones 108 y la unidad de reconcentración 110 y funciona como un componente de recuperación de energía isobárica.

El aparato 100 comprende además una unidad impulsora de líquido 114 como una bomba para aumentar la presión del líquido prepurificado que pasa de la unidad de intercambio de iones 108 a la unidad de reconcentración 110.

Según una realización ejemplar de la invención, la unidad de intercambio de presión 118 y la unidad impulsora de líquido 114 se pueden conformar de forma integral como una entidad común, es decir, una bomba con una función de recuperación de energía integrada que cumple las tareas de intercambio de presión entre el líquido que pasa arriba y abajo el impulso del líquido hacia arriba (como una bomba Clark o una bomba Pearson, como las que fabrica Spectra Watermakers).

La unidad de reconcentración 110 está configurada para separar el líquido prepurificado después del intercambio de iones en líquido purificado (que también se puede denominar impregnante o agua producto o líquido producto) y en un reconcentrado (que también se puede denominar retenido) enriquecido con los segundos cationes ( $\text{Mg}^{2+}$ ) y segundos aniones ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) correspondientes. La reconcentración se logra mediante la filtración del líquido prepurificado después del intercambio de iones mediante una membrana de reconcentración 112 (o térmicamente), como una membrana de nanofiltración, de la unidad de reconcentración 110 de modo que el líquido purificado atraviese la membrana de reconcentración 112 y se pueda llevar al destino 130, como un usuario final que consuma el agua purificada.

Otra parte del líquido que incluye una alta concentración de los segundos cationes ( $\text{Mg}^{2+}$ ) y segundos aniones ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) se retiene en la membrana de reconcentración 112. Esta otra parte del líquido que incluye la alta concentración de los segundos cationes y segundos aniones retenida mediante la membrana de reconcentración 112 se devuelve a través de la unidad de intercambio de presión 118 hacia la unidad de intercambio de iones 108, con los números de referencia 134, 136. A continuación, la misma unidad de intercambio de iones 108 que se ha mencionado vuelve a intercambiar los segundos aniones con los primeros aniones ( $\text{SO}_4^{2-} \rightarrow 2 \text{Cl}^-$ ) y los segundo cationes con los primeros cationes ( $\text{Mg}^{2+} \rightarrow 2 \text{Na}^+$ ) en un procedimiento de intercambio de iones después de la reconcentración descrita. Así, la unidad de intercambio de iones 108 está configurada de forma muy ventajosa para intercambiar de forma reversible los iones antes de la reconcentración y después de la reconcentración. Así, el aparato 100 opera como un sistema de ciclo cerrado en el que los aniones y los cationes se recuperan de forma continua y repetida, y se reutilizan en un ciclo cerrado sin necesidad de suministrar de nuevo agente osmótico al sistema para cada cantidad de agua que se va a purificar.

Como se indica con el número de referencia 138, el agente osmótico recuperado se conduce a continuación de nuevo hacia la cámara 106, donde se puede utilizar para purificar agua nueva que debe ser purificada y que se suministra a partir de la fuente de líquido 120.

El líquido enriquecido con contaminante que se suministra en el volumen de contención 122 y que no ha podido atravesar la membrana de ósmosis 104 se envía a un desagüe 140, como un sistema de eliminación de aguas residuales. También es posible introducir el líquido enriquecido con contaminante en un nuevo ciclo de purificación.

De forma opcional, se puede contar con una unidad de generación de energía 116 configurada para generar energía a partir de un nivel creciente de presión basado en ósmosis en la unidad de ósmosis 102 (de forma más específica, en el lado del agente osmótico). Para simplificar, podría decirse que un aumento de la presión correspondiente en el agente osmótico contiene energía que se puede utilizar. Se hace referencia a US 3.906, 250. Como se indica de forma esquemática con varias flechas en la figura 1, la unidad de generación de energía 116 está configurada para suministrar la energía generada para operar uno o varios de los diversos componentes del aparato 100.

A continuación se describirá el funcionamiento del aparato 100 con mayor detalle:

En la unidad de ósmosis 102 se extrae agua purificada del lado de agua sin procesar contaminada (lado izquierdo de la membrana de ósmosis 104 según la figura 1) para el lado del agente osmótico (lado derecho de la membrana de ósmosis 104 según la figura 1), y así se diluye el agente osmótico en la cámara 106.



De forma opcional, este procedimiento se puede combinar simultáneamente con una ósmosis por presión retardada para producir energía. Por ejemplo, esta energía se puede utilizar para suministrar energía de operación a uno o más componentes del aparato 100.

5 El agente osmótico diluido obtenido en la cámara 106 después de la ósmosis forzada pasa a continuación a través de la unidad de intercambio de iones 108. Durante un procedimiento de intercambio de iones correspondientes, los iones pequeños y monovalentes ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) del agente osmótico se sustituyen con iones más grandes y bivalentes (o, de forma más general, multivalentes, por ejemplo trivalentes) ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ). Como resultado, se reduce de forma significativa la presión osmótica del agente osmótico. En el ejemplo de los iones según la figura 1, dos iones  $\text{Na}^+$  se pueden ligar a un ion  $\text{SO}_4^{2-}$ , y dos iones  $\text{Cl}^-$  se pueden ligar a un ion  $\text{Mg}^{2+}$ , lo que permite reducir el número de partículas disueltas en un factor de dos, lo que puede reducir en consecuencia la presión osmótica en un factor de dos.

15 En una reconcentración posterior basada en membrana, esto tiene como resultado una gran reducción de la presión hidráulica necesaria y, por lo tanto, del consumo de energía. Cuando se introducen otras unidades de reconcentración 110 (es decir, diferentes a las unidades de reconcentración basadas en membranas 110), la configuración de la unidad de intercambio de iones 108 se puede adaptar para obtener las ventajas correspondientes que no se relacionan con una reducción de la presión osmótica. Un ejemplo de la reconcentración térmica sería un intercambio de iones que se puede depositar térmicamente a temperatura más baja que los iones utilizados en la unidad de ósmosis 102. Un ejemplo correspondiente sería  $\text{CO}_2\text{-NH}_3$ .

Hay una realización de la invención altamente recomendable, aunque no obligatoria, en la que el intercambio de iones es reversible.

25 A continuación, la solución con iones intercambiados pasa por la unidad de intercambio de presión 118. La unidad de intercambio de presión 118 transfiere un porcentaje (preferentemente alto, por ejemplo más del 50%, por ejemplo 97%) de la presión de un flujo fluido de concentrado (que pasa de la unidad de reconcentración 110 de vuelta a la unidad de intercambio de iones 108) al agente osmótico diluido (de la unidad de intercambio de iones 108 hasta la unidad de reconcentración 110).

30 El agua prepurificada que pasa hacia adelante atraviesa entonces la unidad impulsora de líquido 114 que puede ser una bomba de impulsión para proporcionar la presión restante deseada o requerida (es decir, una diferencia entre una presión requerida y una presión del agua prepurificada que fluye hacia adelante a lo largo de la unidad de intercambio de presión 118).

35 A continuación, el agua prepurificada que fluye hacia adelante pasa a la membrana de reconcentración 112. Otra cámara 150 en la que se encuentra la membrana de reconcentración 112 y en la que el agua prepurificada que fluye hacia adelante pasa por una entrada de líquido 152, tiene dos salidas de líquido 154, 156.

40 El impregnante, es decir, el agua pura y por lo tanto el producto final, pasa hacia el destino 130 a través de la salida 154.

45 El concentrado (o retenido), sin embargo, vuelve por la salida 156 a la unidad de intercambio de presión 118 y transfiere la presión todavía presente con baja pérdida al agente osmótico diluido que pasa de la unidad de intercambio de iones 108 a la unidad de reconcentración 110, para precargar esta última en términos de presión, para la unidad de reconcentración 110. También es posible utilizar presión para activar una turbina para generar corriente eléctrica, suministrarla para un refuerzo, etc.

50 Después de dejar la unidad de intercambio de presión 118, el concentrado avanza, de forma preferible pero no obligatoria en dirección contraria respecto a la dirección del flujo del agente osmótico diluido, por segunda vez a través de la unidad de intercambio de iones operada de forma reversible 108 e intercambia los iones divalentes ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) con los iones monovalentes originales ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ). Esto aumenta (por ejemplo, duplica) la presión osmótica en el agente osmótico.

55 Al final, el concentrado regresa a la unidad de ósmosis 102 y el ciclo comienza de nuevo desde el principio.

A continuación se describirán con más detalles los pasos del procedimiento y componentes del aparato 100.

60 En la unidad de ósmosis 102 es posible cualquier configuración basada en el principio de la ósmosis forzada, es decir, en la que una solución con una mayor concentración extrae un disolvente como agua de una solución con una menor concentración. Esto se puede lograr mediante un agente osmótico artificialmente preparado (como en la figura 1), aunque también es posible introducir una dilución osmótica o recuperación de energía osmótica o similares. Sin embargo, la ósmosis se tendrá que combinar con un intercambio de iones (preferentemente reversible) y una posterior reconcentración. Por ejemplo, es posible diluir el líquido que se va a purificar (como el agua) con líquido auxiliar (como agua residual o de drenaje) que tengan una presión osmótica inferior, de modo que la purificación (por ejemplo la desalinización) de la mezcla del líquido real que se va a purificar y el líquido auxiliar se puede lograr con líquido menos

concentrado.

En lo que respecta al intercambio de iones (preferentemente reversible) tal y como se lleva a cabo en la unidad de intercambio de iones 108 es que es ventajoso operar el intercambio de iones sin una solución de regeneración externa o por separado si se lleva a cabo la solución producida en la unidad de reconcentración 110 (si se desea, después de un procedimiento de concentración) una segunda vez a través de la unidad de intercambio de iones 108 (preferentemente pero no obligatoriamente en dirección opuesta respecto a la dirección inicial del flujo). De forma ventajosa, el aparato 100 puede, en cada ciclo, suministrar agente osmótico diluido y limpio producido artificialmente con una composición predefinida, reproducible y siempre idéntica para la unidad de intercambio de iones 108.

Para regenerar o reconcentrar el agente osmótico, se puede introducir la membrana de reconcentración 112, que retiene los iones disueltos en la unidad de reconcentración 110 mediante filtración, de modo que los iones estén disponibles para la regeneración del procedimiento de intercambio de iones reversible. Por ejemplo, en este contexto se puede llevar a cabo uno de los siguientes procedimientos de separación de membranas: nanofiltración, ósmosis inversa (por ejemplo adaptada como ósmosis inversa de agua marina, u ósmosis inversa de agua salubre), ultrafiltración, microfiltración, etc.

Sin embargo, también es posible introducir un proceso térmico que puede implicar destilación para la reconcentración. Por ejemplo, se pueden aplicar la evaporación multietapa, la destilación multiefecto o la destilación solar. Además, de forma alternativa, la reconcentración se puede lograr mediante destilación de membranas, desalinización por compresión de vapor, procedimientos de congelación, electrodiálisis o procedimientos *lonenkraft*. En el caso de dichos procedimientos de reconcentración no basados en membrana, el intercambio de iones en la unidad de intercambio de iones 108 puede intercambiar un agente osmótico con iones que tengan un impacto positivo en la posterior reconcentración. Para el ejemplo de la reconcentración térmica, se pueden intercambiar iones primarios por iones secundarios que se pueden depositar a una temperatura más baja.

Como ya se ha mencionado, se puede introducir de forma opcional un procedimiento de recuperación de energía en el proceso de purificación del líquido. Algunos ejemplos de dicha recuperación de energía son una recuperación de energía isobárica (por ejemplo en forma de unidad de intercambio de presión 118), una turbina para generar una corriente eléctrica, un turbocargador, una bomba (que puede sustituir de forma preferente la unidad impulsora de líquido 114) con una función de recuperación de energía integrada (como una bomba Pearson o una bomba Clark, como las que fabrica Spectra Watermakers).

La **figura 2** ilustra una unidad de intercambio de presión 118 de un aparato 100 según una realización ejemplar de la invención.

El principio de funcionamiento de la unidad de intercambio de presión 118, como ejemplo de un componente de recuperación de energía según una realización ejemplar de la invención, es el siguiente: El flujo de concentrado pasa a través de la unidad de intercambio de presión 118 y deja esta última con cierta cantidad (por ejemplo, aproximadamente un 95%) de la presión de entrada requerida de la unidad de reconcentración 110 (en el ciclo anterior, el concentrado ha dejado la unidad de reconcentración 110 con, por ejemplo, alrededor del 98% de la presión de entrada, y la unidad de intercambio de presión 118 puede tener un grado de eficiencia del 97%).

La unidad de intercambio de presión 118 que se muestra en la figura 1 y la figura 2 es un componente de transferencia de energía isobárica que transfiere presión hidráulica de una corriente de líquido a otra corriente de líquido. Dicho procedimiento se puede llevar a cabo con un grado significativamente mayor de eficiencia, como si se requiriese una conversión del tipo de energía.

Como se puede deducir a partir de la figura 2, se logra un intercambio de presión entre el líquido primario que pasa de la unidad de intercambio de iones 108 a la unidad de reconcentración 110 (ver números de referencia 128, 132) y el líquido secundario que pasa de la unidad de reconcentración 110 a la unidad de intercambio de iones 108 (ver números de referencia 134, 136). Un pistón giratorio (no se muestra) se monta dentro de una carcasa 202 (como un cilindro). Las flechas 204 indican el líquido bajo presión correspondiente, mientras que las flechas 206 indican el líquido correspondiente en un estado despresurizado o con poca presión.

En una realización en la que no se introduce la recuperación de energía, resulta ventajoso implantar una válvula de contrapresión (de forma opcional en combinación con una válvula de descarga de presión), en particular si una unidad de reconcentración basada en membrana 110 se debe instalar en el aparato 100.

Como alternativa a la configuración según la figura 2, resulta por ejemplo posible implantar una turbina, un refuerzo, una bomba Pearson o una bomba Clark (por ejemplo, como las que fabrica Spectra Watermakers).

Se debe tener en cuenta que el término «comprende» no excluye otros elementos o etapas, y el artículo «una» o «uno» no excluye una pluralidad. Además, se pueden combinar elementos descritos en asociación con diferentes realizaciones.

También se debe tener en cuenta que los signos de referencia de las reivindicaciones no se deben considerar como limitaciones en el alcance de las realizaciones.

- 5 La ejecución de la invención no se limita a las realizaciones preferidas ya descritas que se muestran en las figuras. Por el contrario, hay diversas variantes posibles, como se definen en las siguientes reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un aparato (100) para purificar líquidos, y dicho aparato (100) comprende:
  - 5 una unidad de ósmosis (102) configurada para prepurificar el líquido que se va a purificar mediante ósmosis forzada del líquido que se va a purificar a través de una membrana de ósmosis (104) en una cámara (106) que comprende primeros iones disueltos, en particular primeros cationes y primeros aniones;
  - 10 una unidad de intercambio iónico (108) configurada para intercambiar al menos parte de los primeros iones, en particular al menos parte de al menos uno de los primeros cationes y los primeros iones, mediante segundos iones, en particular al menos uno de los segundos cationes y segundos aniones;
  - 15 una unidad de reconcentración (110) configurada para separar el líquido prepurificado después del intercambio iónico en líquido purificado y en un reconcentrado enriquecido con los iones correspondientes, en particular aniones y cationes;
  - caracterizada porque** los primeros iones, en particular al menos uno de los primeros cationes y los primeros aniones, tienen un valor absoluto de un estado de carga disuelta inferior que un valor absoluto de un estado de carga de los segundos iones, en particular de al menos uno de los segundos cationes y los segundos aniones, disueltos.
  
2. El aparato (100) según la reivindicación 1, donde la unidad de ósmosis (102) está configurada para estimular un flujo del líquido que se va a purificar a través de la membrana de ósmosis (104) mientras se inhibe un flujo de contaminantes del líquido que se va a purificar hacia la cámara (106) y mientras se inhiben los primeros iones, en particular los primeros cationes y los primeros aniones, de pasar a través de la membrana de ósmosis (104) hacia el líquido que se va a purificar.
  
3. El aparato (100) según las realizaciones 1 o 2, donde la unidad de intercambio iónico (108) está configurada para intercambiar al menos parte de los primeros aniones mediante los segundos aniones o al menos parte de los primeros cationes mediante los segundos cationes.
  
4. El aparato (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde la unidad de intercambio iónico (108) está configurada para intercambiar de forma reversible al menos parte de los iones, en particular al menos parte de al menos uno de los aniones y los cationes, antes de la reconcentración y después de la reconcentración.
  
5. El aparato (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde la unidad de intercambio iónico (108) está configurada para volver a intercambiar al menos parte de los iones, en particular al menos parte de al menos uno de los aniones y los cationes, después del intercambio iónico mediante los otros iones correspondientes, en particular los otros aniones y cationes correspondientes, mediante otro intercambio inverso de iones, preferentemente en la misma unidad de intercambio iónico (108) que opera en términos del intercambio iónico anterior a la reconcentración, después de la reconcentración.
  
6. El aparato (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, donde la unidad de reconcentración (110) se configura para filtrar el líquido prepurificado después del intercambio iónico mediante una membrana de reconcentración (112) para que el líquido purificado pase por la membrana de reconcentración (112), mientras que al menos parte de los iones intercambiados (en particular aniones y cationes) se retienen con la membrana de reconcentración y, por lo tanto, se reconcentran (112).
  
7. El aparato (100) según la reivindicación 6, donde la unidad de reconcentración (110) comprende una membrana de ósmosis inversa.
  
8. El aparato (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende al menos una de las siguientes características:
  - 55 donde la unidad de reconcentración (110) está configurada para completar la reconcentración mediante al menos un elemento del grupo que consiste en destilación de membrana y diálisis eléctrica, que comprende una unidad de impulsión de líquido (114) configurada para proporcionar o estimular una fuerza impulsora que actúa en el líquido prepurificado desde la unidad de intercambio de iones (108) a la unidad de reconcentración (110);
  - 60 donde al menos parte de los primeros iones, en particular al menos uno de los primeros cationes y los primeros aniones, son iones monovalentes, en particular cationes o aniones, y al menos parte de los segundos iones, en particular al menos uno de los segundos cationes y los segundos aniones, son multivalentes, en particular bivalentes, iones, en particular cationes o aniones;
  - 65 donde los primeros cationes y los segundos cationes se seleccionan según las propiedades de los iones, en particular en términos de propiedades de deposición térmica para aumentar la eficiencia de la reconcentración en la unidad de reconcentración (110);
  - donde los primeros cationes son más pequeños que los segundos cationes o los primeros aniones son más pequeños que los segundos aniones.
  - donde los primeros aniones y los primeros cationes representan cloruro de sodio disuelto; donde los segundos aniones y los segundos cationes representan sulfato de magnesio disuelto; donde la unidad de intercambio de

iones (108) está configurada para intercambiar de forma reversible al menos parte de los primeros iones por segundos iones, en particular la unidad de intercambio de iones (108) está configurada para regenerarse mediante el reconcentrado.

- 5 9. El aparato (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende una unidad de producción de energía (116) configurada para producir energía durante la operación del aparato (100), en particular desde un nivel de presión basado en ósmosis en la unidad de ósmosis (102).
- 10 10. El aparato (100) según la reivindicación 9, donde la unidad de producción de energía (116) se configura para suministrar la energía producida para operar el aparato (100).
11. El aparato (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, que comprende una unidad de intercambio de presión (118), que comprende al menos una de las siguientes características:
- 15 la unidad de intercambio de presión (118) está configurada para transmitir presión entre, y en particular desde, líquido que se propaga desde la unidad de reconcentración (110) a la unidad de intercambio de iones (108) y, en particular hasta, líquido que se propaga de la unidad de intercambio de iones (108) a la unidad de reconcentración (110);
- 20 la unidad de intercambio de presión (118) comprende al menos un elemento del grupo que consiste en una turbina, un refuerzo, una bomba Clark y una bomba Pearson.
12. El aparato (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, configurado como un sistema de ciclo cerrado en el que al menos parte de los iones, en particular al menos parte de los aniones o al menos parte de los cationes, se recuperan y se reutilizan en un ciclo cerrado.
- 25 13. El aparato (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, configurado como al menos uno de los elementos del grupo que consiste en una planta de desalinización de agua marina, una planta de desalinización de agua salobre, un aparato portátil (en particular, en una mochila) para la purificación móvil de agua, un aparato doméstico de purificación de agua para purificar agua para un edificio, un aparato industrial de purificación de agua para purificar agua para una fábrica, un aparato agrícola de purificación de agua, un aparato de minería de purificación de agua, un aparato municipal (100) para purificar líquido, un aparato naval (100) para purificar líquido, un aparato aéreo (100) para purificar líquido y un aparato de una nave espacial (100) para purificar líquido.
- 30 14. Un procedimiento para purificar líquido, y dicho procedimiento comprende:
- 35 prepurificar el líquido que se va a purificar mediante ósmosis forzada del líquido que se va a purificar a través de una membrana de ósmosis (104) en una cámara (106) que comprende primeros iones disueltos, en particular primeros cationes y primeros aniones;
- 40 a continuación intercambiar al menos parte de los primeros iones, en particular al menos parte de al menos uno de los primeros cationes y los primeros iones, mediante segundos iones, en particular al menos uno de los segundos cationes y segundos aniones, mediante una unidad de intercambio de iones (108);
- separar el líquido prepurificado después del intercambio iónico en líquido purificado y en un reconcentrado enriquecido con los iones correspondientes, en particular aniones y cationes;
- 45 **caracterizada porque** los primeros iones, en particular al menos uno de los primeros cationes y los primeros aniones, tienen un valor absoluto de un estado de carga disuelta inferior que un valor absoluto de un estado de carga de los segundos iones, en particular de al menos uno de los segundos cationes y los segundos aniones, disueltos.

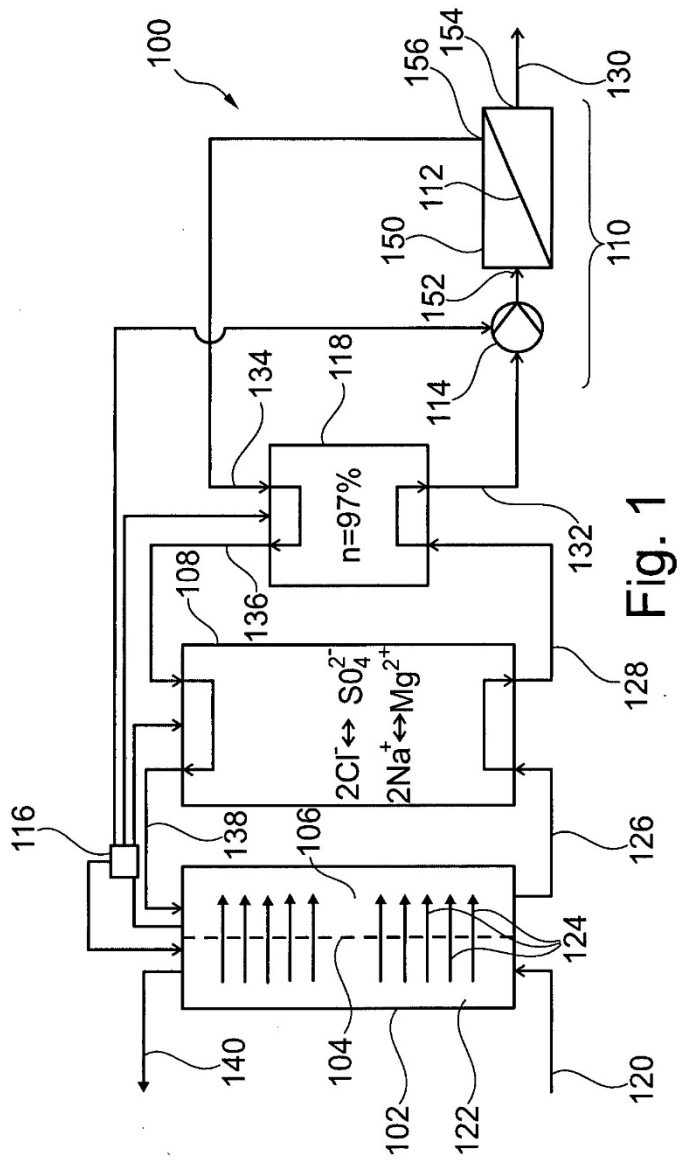


Fig. 1

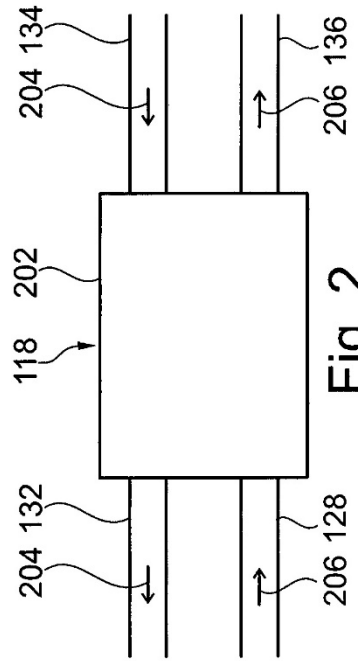


Fig. 2